



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**METODE PELAKSANAAN
PEMBANGUNAN TEROWONGAN BANGUNAN PENGELAK
(TUNNEL)
PADA PROYEK WADUK BENDO PONOROGO**

LILIANTO RIO PAMBUDI
NRP. 3114 030 070

MUSTAR ICHSANDI
NRP. 3114 030 103

DOSEN PEMBIMBING 1 :
TATAS, M.T.
NIP. 19800621 200501 1 002

DOSEN PEMBIMBING 2 :
DWI INDRIYANI, S.T., M.T.
NIP. 19810210 201404 2 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA Tahun 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**METODE PELAKSANAAN
PEMBANGUNAN TEROWONGAN BANGUNAN PENGELAK
(*TUNNEL*)
PADA PROYEK WADUK BENDO PONOROGO**

LILIANTO RIO PAMBUDI
NRP. 3114 030 070

MUSTAR ICHSANDI
NRP. 3114 030 103

DOSEN PEMBIMBING 1 :
TATAS, M.T.
NIP. 19800621 200501 1 002

DOSEN PEMBIMBING 2 :
DWI INDRIYANI, S.T., M.T.
NIP. 19810210 201404 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA Tahun 2017



FINAL PROJECT - RC145501

**METHOD OF IMPLEMENTATION
DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION BUILDING
(TUNNEL)
IN BENDO PONOROGO DAM PROJECT**

LILIANTO RIO PAMBUDI
NRP. 3114 030 070

MUSTAR ICHSANDI
NRP. 3114 030 103

SUPERVISOR 1 :
TATAS, M.T.
NIP. 19800621 200501 1 002

SUPERVISOR 2:
DWI INDRIYANI, S.T., M.T.
NIP. 19810210 201404 2 001

**DIPLOMA STUDY PROGRAM III CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING INFRASTRUCTURE CIVIL
FACULTY OF VOCATION
INSTITUT TECHNOLOGY SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA Year 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**METODE PELAKSANAAN PEMBANGUNAN
TEROWONGAN BANGUNAN PENGELAK
(TUNNEL) PADA PROYEK WADUK BENDO
PONOROGO, JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR TERAPAN

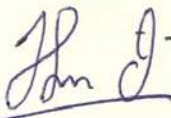
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Kelulusan Pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Oleh :

Mahasiswa 1



Lilianto Rio Pambudi
NRP. 3114 030 070

Mahasiswa 2



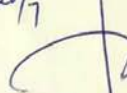
Mustar Ichsandi
NRP. 3114 030 103

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Teratapan :
Surabaya, Juni 2017

26 JUL 2017

Dosen Pembimbing 1

20/7
2017



Tatas M.T.

NIP. 19800621 200501 1

Dosen Pembimbing 2



Dwi Indriyani S.T., M.T.

NIP. 19810210 201404 2



**METODE PELAKSANAAN PEMBANGUNAN
TEROWONGAN BANGUNAN PENGELAK
(*TUNNEL*) PADA PROYEK WADUK BENDO
PONOROGO, JAWA TIMUR**

Dosen Pembimbing 1 : Tatas M.T.
19800621 200501 1
Dosen Pembimbing 2 : Dwi Indriyani S.T., M.T.
19810210 201404 2
Mahasiswa 1 : Lilianto Rio Pambudi
3114 030 070
Mahasiswa 2 : Mustar Ichsandi
3114 030 103
Jurusan : Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS

ABSTRAK

Waduk Bendo merupakan sebuah proyek yang di kelola oleh Kementrian Pekerja Umum Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo yang terletak pada wilayah dukuh Bendo, Desa Ngindeng, kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Dalam pembangunan sebuah bendungan diperlukan beberapa bangunan penting dan penunjang beroperasinya sistem tersebut, salah satunya berupa bangunan pengelak atau terowongan pengelak (*Diversion Tunnel*). Bangunan pengelak adalah suatu bangunan yang berfungsi mengalihkan aliran sungai utama selama pekerjaan konstruksi bendungan dilaksanakan. Sedangkan terowongan pengelak berfungsi mengalirkan aliran sungai utama tersebut agar pekerjaan konstruksi bendungan dapat dilaksanakan. Dalam proses pembuatan terowongan pengelak perlu dikaji terlebih dahulu metode-metode yang digunakan dalam pembuatan terowongan pengelak agar penerapan dilapangan sesuai dengan perencanaan. Sehingga perlu dibuat penyusunan dokumen-dokumen metode pelaksanaan pada terowongan pengelak Waduk Bendo Ponorogo. Pada terowongan pengelak Waduk Bendo Ponorogo memiliki jenis transisi pada

tiap kedalaman yang berbeda. Transisi yang dipakai adalah tipe transisi seperti tapal kuda. Dalam pengerjaan terowongan pengelak terdiri dari beberapa tahapan pelaksanaan yaitu : Pekerjaan Pemetaan (*uitzet lapangan*), Pekerjaan peledakan (*Blasting*), Pekerjaan *Scalling and Mucking*, Pekerjaan Pemasangan besi penyangga (*Steel support*), Pekerjaan *Shotcrete*, Pekerjaan Pembuatan Lantai Kerja, Pekerjaan Pengecoran dinding bagian bawah, Pekerjaan pengecoran dinding bagian atas, dan Pekerjaan *Grouting*. Dengan demikian diharapkan dokumen-dokumen penulisan metode pelaksanaan dapat membantu dalam pembuatan terowongan pengelak yang ada pada proyek Waduk Bendo Ponorogo.

Kata Kunci : Terowongan pengelak, waduk Bendo Ponorogo, *Blasting*, *uitzet lapangan*, *Grouting*.

**METHOD OF IMPLEMENTATION
DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION BUILDING
(TUNNEL)
IN BENDO PONOROGO DAM PROJECT**

Supervisor 1	: Tatas M.T. 19800621 200501 1
Supervisor 2	: Dwi Indriyani S.T., M.T. 19810210 201404 2
1st Student	: Lilianto Rio Pambudi 3114 030 070
2nd Student	: Mustar Ichsandi 3114 030 103
Jurusan	: Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS

ABSTRACT

Bendo Dam is a project managed by the Ministry of Public Works of the River Territory (BBWS) of Bengawan Solo which is located in the hamlet of Bendo, Ngindeng Village, Sawoo District, Ponorogo Regency, East Java Province. In the construction of a dam required several important buildings and support the operation of the system, one of them in the form of a dodge building or distraction tunnel (Diversion Tunnel). Duck building is a building that serves to divert the main river flow during dam construction work carried out. While the dormitory tunnel functions to drain the main river flow so that the dam construction work can be implemented. In the process of making the duck tunnel needs to be reviewed in advance the methods used in the manufacture of tunneling tunnels for the implementation of the field in accordance with the planning. So it is necessary to make the preparation of documents of the method of execution on tunnel dam dam Bendo Ponorogo. In Bendo Ponorogo damage tunnel tunnels have different types of transitions at different depths. The transition used is a transitional type such as a horseshoe. In the degrading tunnel work consists of

several stages of implementation: Mapping Work (uitzet field), Blasting work, Scalling and mucking work, Iron Buffer Works, Shotcrete Works, Work Floor Works, Lower Wall Painting Works, Top wall casting work , And Grouting Works. It is hoped that the writing documents of the training method can assist in the making of the existing duck tunnel at the Bendo Ponorogo dam project.

Keywords: Pengelak tunnel, Bendo Ponorogo dam, Blasting, uitzet field, Grouting

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR BAGAN.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Permasalahan.....	2
1.6 Lokasi Studi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Definisi Teknis Pekerjaan.....	5
2.2 Data Teknis Terowongan Pengelak.....	6
2.3 Gambar Teknis Terowongan Pengelak.....	6
2.4 Jadwal Pelaksanaan Pembangunan Terowongan Pengelak.....	9
2.5 Penjelasan Jenis Kegiatan.....	9
2.5.1 Pekerjaan Pemetaan.....	9
2.5.2 Pekerjaan Driling dan Blasting.....	12
2.5.3 <i>Scalling and Mucking</i>	16
2.5.4 Pekerjaan <i>Rockbolt</i> dan <i>Wiremesh</i>	18
2.5.5 Pekerjaan <i>Steel Support</i>	21
2.5.6 Pekerjaan <i>Shotcreting (first layer and second layer)</i>	23
2.5.7 Pekerjaan Lantai Kerja.....	25
2.5.8 Pekerjaan Pembetonan Bagian Bawah (<i>Lower</i>) ..	27

2.5.9	Pekerjaan Pembetonan Bagian Atas (<i>Upper</i>)	29
2.5.10	Pekerjaan <i>Grouting</i>	31
BAB III METODOLOGI		34
3.1	Umum	35
3.2	Persiapan.....	35
3.3	Studi Literatur.....	35
3.4	Pengumpulan Data.....	35
3.5	Analisa Pekerjaan	36
3.6	Kebutuhan Bahan	36
3.7	Kebutuhan Tenaga	36
3.8	Bagan Alir	37
3.9	Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir Terapan	38
3.10	Ketersediaan Data.....	38
BAB IV METODE PELAKSANAAN.....		39
4.1	Pekerjaan Pemetaan.....	39
4.2	Pekerjaan <i>Drilling</i> dan <i>Blasting</i>	52
4.3	<i>Scalling</i> dan <i>Mucking</i>	69
4.4	Pemasangan <i>Rockbolt</i> dan <i>Wiremesh</i>	72
4.5	Pemasangan <i>Steel Suport</i>	74
4.6	Pekerjaan <i>Shotcrete (fistlayer and second layer)</i>	80
4.8	Pekerjaan Pembetonan bagian <i>Lower</i>	85
4.9	Pekerjaan Pembetonan bagian <i>Upper</i>	102
4.10	Pekerjaan <i>Grouting</i>	105
4.11	Ringkasan Tahapan Pekerjaan Terowongan.....	110
BAB V PENUTUP		121
5.1	Kesimpulan.....	121
5.2	Saran	122
DAFTAR PUSTAKA.....		123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi studi	3
Gambar 2. 1 Potongan memanjang terowongan.....	7
Gambar 2. 2 Potongan melintang terowongan	8
Gambar 2. 3 Beberapa APD yang biasa digunakan	11
Gambar 2. 4 Papan waktu pelaksanaan peledakan	15
Gambar 2. 5 Rambu peringatan.....	15
Gambar 2. 6 <i>Blower</i> pada lubang peledak.....	16
Gambar 2. 7 Pekerjaan <i>scalling dan mucking</i>	17
Gambar 2. 8 Detail <i>Rockbolt</i>	18
Gambar 2. 9 Wiremesh.....	18
Gambar 2. 10 Detail pemasangan <i>rockbolt</i>	19
Gambar 2. 11 Bentuk - bentuk <i>lattice</i>	21
Gambar 2. 12 Feet lock&steel connection	22
Gambar 2. 13 Mesin <i>Shotcrete</i>	24
Gambar 2. 14 Pekerjaan shotcrete	24
Gambar 2. 15 Compressor 750.....	26
Gambar 3. 1 Metodologi tugas akhir.....	37
Gambar 4. 1 Lokasi titik BM.....	39
Gambar 4. 2 Jarak titik BM ke titik BM bantu.....	39
Gambar 4. 3 Detail patok	40
Gambar 4. 4 Denah terowongan (<i>Lebih Jelas lihat Lampiran</i>)...	41
Gambar 4. 5 Pembagian titik tembak (<i>Lebih jelas lihat lampiran</i>)	42
Gambar 4. 6 Elevasi terowongan (<i>Lebih jelas lihat lampiran</i>) ...	44
Gambar 4. 7 Membuat <i>job</i> pada total station	48
Gambar 4. 8 Membuat <i>job name</i> pada total station.....	48
Gambar 4. 9 Tombol <i>known</i> pada Total Station.....	48
Gambar 4. 10 Memasukkan titik koordinat.....	49
Gambar 4. 11 <i>Backsight</i>	50
Gambar 4. 12 Input BS Point	50
Gambar 4. 13 Tombol-tombol pada total station.....	51
Gambar 4. 14 Perekaman data <i>backsight</i>	51
Gambar 4. 15 Perekaman data <i>foresight</i>	51

Gambar 4. 16 Bor <i>electro hydraulic jumbo</i>	52
Gambar 4. 17 Hubungan kedalaman lubang ledak dengan prosentase kemajuan per <i>round</i>	53
Gambar 4. 18 Hubungan <i>charge concentration</i> dengan jarak C-C pada bujur sangkar 1	55
Gambar 4. 19 Geometri dan panjang lubang bujur sangkar 1	55
Gambar 4. 20 Hubungan antara burden dengan <i>charge concentration</i>	56
Gambar 4. 21 Bahan peledak <i>emulite</i>	57
Gambar 4. 22 Geometri dan panjang lubang bujur sangkar 2	57
Gambar 4. 23 Hubungan diameter lubang ledak, jenis bahan ledak, dan konsentrasi bahan ledak	59
Gambar 4. 24 Geometri lubang ledak pada bujur sangkar 3	60
Gambar 4. 25 Geometri lubang ledak pada lubang lantai	62
Gambar 4. 26 Geometri lubang ledak pada lubang dinding	64
Gambar 4. 27 Geometri lubang ledak pada lubang atap	65
Gambar 4. 28 Geometri lubang ledak pada lubang <i>stoping</i> keatas dan horisontal	66
Gambar 4. 29 Geometri lubang ledak pada lubang <i>stoping</i> kebawah	67
Gambar 4. 30 Pola peledakan terowongan <i>half second delay</i>	69
Gambar 4. 31 Pekerjaan <i>Scalling</i>	70
Gambar 4. 32 Pekerjaan <i>Mapping</i> di <i>Inlet</i>	70
Gambar 4. 33 Gambar proses <i>scaling & mucking</i>	71
Gambar 4. 34 <i>Rockbolt</i> terpasang	72
Gambar 4. 35 Pemasangan <i>wiremesh</i>	72
Gambar 4. 36 <i>Sika rokkon</i>	73
Gambar 4. 37 Rekomendasi Penggalian dan Sistem Penyangga Terowongan pada Klasifikasi RMR (Bieniawski, 1989)	74
Gambar 4. 38 Desain <i>Steel Ssupport</i> Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo	75
Gambar 4. 39 Pembengkokan baja profil	76
Gambar 4. 40 Pelubangan baja profil	77
Gambar 4. 41 Pemasangan <i>Steel Support</i> bagian kaki	77

Gambar 4. 42 Desain detail pondasi <i>Steel Support</i>	78
Gambar 4. 43 Desain sambungan <i>Steel Support</i>	78
Gambar 4. 44 Pemasangan <i>Steel Support</i> bagian atap	79
Gambar 4. 45 Pemasangan <i>Steel Support</i>	80
Gambar 4. 46 Survei pekerjaan lantai kerja	83
Gambar 4. 47 Pembetonan	84
Gambar 4. 48 Perataan permukaan lantai kerja	84
Gambar 4. 49 Penulangan bagian <i>Lower</i>	86
Gambar 4. 50 Desain bekisting bagian <i>Lower</i>	87
Gambar 4. 51 Pengangkatan bekisting	88
Gambar 4. 52 Denah <i>Waterstop</i>	90
Gambar 4. 53 Pemasangan <i>Waterstop</i>	90
Gambar 4. 54 Truk Pengangkut Semen	91
Gambar 4. 55 Uji suhu dan <i>Slump</i>	91
Gambar 4. 56 Tabel slump berdasarkan PBBI 1971	92
Gambar 4. 57 Diagram alir pekerjaan pengecoran bagian <i>Lower</i>	93
Gambar 4. 58 Rencana bekisting	94
Gambar 4. 59 Pengangkatan pipa <i>Concrete Pump</i>	95
Gambar 4. 60 Sambungan pipa <i>Concrete Pump</i>	95
Gambar 4. 61 Posisi <i>Scaffolding</i> sebagai penyangga pipa <i>Concrete Pump</i>	96
Gambar 4. 62 Penuangan beton dari <i>concrete mix</i> ke <i>concrete</i> <i>pump</i>	96
Gambar 4. 63 Penuangan beton dari <i>Concrete Pump</i> ke area kerja	97
Gambar 4. 64 Pemadatan beton dengan <i>Vibrator</i> dan pengarah penungan beton	98
Gambar 4. 65 Proses perataan permukaan beton	99
Gambar 4. 66 Pengukuran ulang beton bagian <i>Lower</i>	99
Gambar 4. 67 Beton bagian <i>Lower</i>	100
Gambar 4. 68 Detai Potongan melintang <i>Tunnel</i>	101
Gambar 4. 69 <i>Sliding Form</i> bekisting	102
Gambar 4. 70 Proses pengecoran bagian <i>Upper</i>	102
Gambar 4. 71 Proses pengecoran	103

Gambar 4. 72 Proses pengecoran	103
Gambar 4. 73 Tahapan pengecoran bagian <i>Upper</i> terowongan	104
Gambar 4. 74 Proses pelepasan <i>Sliding</i> bekisting	105
Gambar 4. 75 Pemboran dan <i>Groting Stage 1</i> (0 – 5 m)	109
Gambar 4. 76 Pemboran dan <i>Grouting Stage 2</i> (5 – 10 m)	109
Gambar 4. 77 Penembakan terowongan dengan menggunakan <i>Totalstation</i>	111
Gambar 4. 78 Kondisi terowongan pengelak	111
Gambar 4. 79 Membuat titik pada terowongan yang akan diledakan.....	112
Gambar 4. 80 Pekerjaan <i>Drilling</i>	112
Gambar 4. 81 Pengisian bahan peledak.....	113
Gambar 4. 82 Kedalaman bahan peledak	113
Gambar 4. 83 hasil ledakan lubang tahap pertama	113
Gambar 4. 84 Hasil <i>Scalling</i> dan <i>Mucking</i>	114
Gambar 4. 85 Pemasangan <i>Steel Support</i>	114
Gambar 4. 86 <i>Steel Support</i> yang telah dipasang	115
Gambar 4. 87 Pekerjaan <i>shotcrete</i>	115
Gambar 4. 88 Pengeoran lantai kerja.....	116
Gambar 4. 89 Pemasangan tulangan.....	117
Gambar 4. 90 Pemasangan bekisting.....	117
Gambar 4. 91 Pembetonan bagian <i>Lower</i>	117
Gambar 4. 92 Terowongan bagian lower telah di cor	118
Gambar 4. 93 Bekisting pada bagian <i>Upper</i>	118
Gambar 4. 94 Tahapan pengecoran bagian <i>Upper</i>	119
Gambar 4. 95 Hasil setelah dilakukan proses pembetonan	119
Gambar 4. 96 Lubang <i>Grouting</i>	119
Gambar 4. 98 Pipa <i>grouting</i>	120
Gambar 4. 97 Hasil <i>grouting</i>	120

DAFTAR BAGAN

Bagan 2. 1 Proses kerja penggalian tanah	10
Bagan 2. 2 Proses pemasangan <i>rockbolt & wiremesh</i>	20
Bagan 2. 3 Bagan alir pembuatan <i>steelsSupport</i>	22
Bagan 4. 1 Proses kalibrasi alat ukur <i>Total Station</i>	46
Bagan 4. 2 Alir pemasangan <i>Rockbolt</i>	73
Bagan 4. 3 Pemasangan <i>Steel Ssupport</i>	76
Bagan 4. 4 Proses <i>Shotcrete</i>	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perhitungan lubang pada ledakan biasa.....	13
Tabel 2. 2 Perhitungan <i>smooth blasting</i>	13
Tabel 3. 1 Jadwal pengerjaan tugas akhir terapan.....	38
Tabel 3. 2 Ketersediaan data tugas akhir.....	38
Tabel 4. 1 koordinat titik.....	40
Tabel 4. 2 Daftar koordinat titik-titik pada terowongan.....	43
Tabel 4. 3 Rumus geometri peledakan	53
Tabel 4. 4 Ketentuan geometri untuk <i>smooth blasting</i>	62
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan muatan bahan peledak	68
Tabel 4. 6 Pengujian <i>water pressure test</i> pada <i>Consolidation Grouting</i>	106
Tabel 4. 7 Campuran <i>grouting</i> pada <i>Water Pressure test</i> pada <i>Consolidation Grouting</i>	106
Tabel 4. 8 Pengujian <i>water pressure test</i> pada <i>Consolidation Grouting</i>	107
Tabel 4. 9 Campuran <i>grouting</i> pada <i>Water Pressure Test</i> pada <i>Curtain Grouting</i>	108

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya dalam memberikan kesehatan dan kekuatan bagi penulis guna menyelesaikan penyusunan proposal ini.

Penyusunan proposal ini diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan akademik pada mata kuliah Tugas Akhir tahun ajaran 2016-2017, program studi Diploma III Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Adapun judul dari penyusunan proposal ini adalah “METODE PELAKSANAAN PEMBANGUNAN TEROWONGAN BANGUNAN PENGELAK (TUNNEL) PADA PROYEK WADUK BENDO PONOROGO”

Proposal ini disusun dari kumpulan data-data yang telah didapatkan dan merupakan syarat pokok untuk melanjutkan penyusunan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala saran, kritik, serta masukan yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi perbaikan pada penyusunan tugas akhir kedepan.

Surabaya, 20 Januari 2016

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lokasi Waduk Bendo terletak di Kali Kenyang atau juga di kenal dengan nama Kali Ngindeng yang merupakan anak Kali Madiun. Menurut wilayah wilayah Dukuh Bendo, Desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo. Secara geografis lokasi rencana Waduk Bendo terletak pada $7^{\circ}49'33''$ - $7^{\circ}59'36''$ LS dan $111^{\circ}34'57''$ - $111^{\circ}44'40''$ BT.

Pada salah satu proses pembangunan Waduk Bendo adalah pengerjaan *Diversion Tunnel* (saluran pengelak). Untuk pembangunan *Tunnel* menurut NATM (*New Austrian Tunnels Method*) sendiri terdiri dari sepuluh tahapan yaitu : Pekerjaan Tanah, *Surveying and Marking*, Pekerjaan Pemboran (*Drilling*), Pekerjaan Pengisian Bahan Peledak (*Charging*), Pekerjaan Peledakan (*Blasting*), Pekerjaan *Ventilating*, Pekerjaan Pembersihan (*Scalling*), Pekerjaan Pembuangan Material Hasil Ledakan (*Mucking*), Pekerjaan *Shotcreting* (*first layer* dan *second layer*), Pemasangan *Rockbolt* (*Porepolling* untuk batuan *poor rock*), Pemasangan *Steel rib Frame*.

Owner dari proyek Waduk Bendo Ponorogo ini adalah Kementrian PU Dirjen SDA BBWS Bengawan Solo. Sedangkan untuk konsultan pengawas proyek Waduk Bendo ini adalah PT. Raya Konsult-DDC Consultant-Innako, International Konsulindo -PT. Tuah Agung Anugrah KSO dan untuk kontraktor pelaksana adalah Wijaya – Hutama – Nindya KSO.

administrasi pemerintahan, lokasi ini masuk dalam

Pihak kontraktor dalam kegiatannya hanya mengandalkan gambar teknis dari *owner* dan dokumen metode pelaksanaan. Namun demikian dokumen metode pelaksanaan tersebut tidaklah detail, hanya bersifat penjelasan umum, sehingga diperlukan metode pelaksanaan yang lebih detail.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari latar belakang tersebut adalah tidak adanya dokumen metode pelaksanaan yang detail dari *owner* kepada kontraktor untuk melaksanakan pekerjaan saluran pengelak pada Proyek Waduk Bendo Ponorogo.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari kegiatan ini adalah membuat panduan metode pelaksanaan yang tepat dan efisien pada terowongan pengelak Proyek Pembangunan Waduk Bendo Ponorogo.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penulisan metode pelaksanaan adalah mampu menerapkan metode pelaksanaan yang tepat dan efisien pada terowongan pengelak Proyek Pembangunan Waduk Bendo Ponorogo.

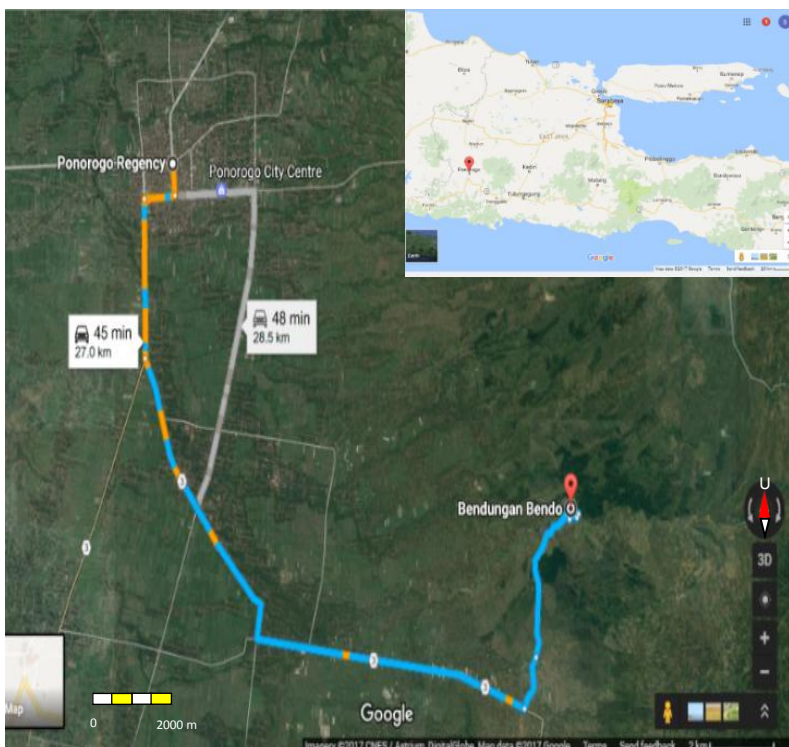
1.5 Batasan Permasalahan

Batasan masalah dari penulisan metode pelaksanaan adalah sebagai berikut :

1. Pekerjaan Pemetaan.
2. Pekerjaan *Driling* dan *Blasting*
3. Pekerjaan *Scalling* dan *Mucking*.
4. Pekerjaan *Rockbolt* dan *Wiremesh*.
5. Pekerjaan *Steel Rib*.
6. Pekerjaan *Shotcreting* (*first layer and second layer*).
7. Pekerjaan Lantai Kerja.
8. Pekerjaan Pembetonan Bagian Bawah (*Lower*).
9. Pekerjaan Pembetonan Bagian Atas (*Upper*).
10. Pekerjaan *Grouting* .

1.6 Lokasi Studi

Lokasi dari pekerjaan Pembangunan Waduk Bendo berada di Kali Keyang atau juga dikenal dengan nama Kali Ngindeng yang merupakan anak Kali Madiun. Menurut data wilayah administrasi pemerintah, lokasi Waduk Bendo berada dalam wilayah dukuh Bendo, Desa Ngindeng, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis lokasi Waduk Bendo berada pada LS : $7^{\circ}49'33''$ - $7^{\circ}59'36''$ BT : $111^{\circ}34'57''$ - $111^{\circ}44'40''$. Morfologi daerah rencana bendungan merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara EL. +150 sebagai elevasi dasar sungai sampai EL. +450 m di sisi kiri sungai dan EL. +250 m di sisi kanan sungai. Terlihat seperti **Gambar 1.1** merupakan gambar dari *google map* lokasi proyek.



Gambar 1. 1 Lokasi studi

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Teknis Pekerjaan

Definisi dari Metode Pelaksanaan (*Construction Method*) menurut Pedoman Pengawasan Penyelenggara Pekerja Konstruksi adalah cara pelaksanaan pekerjaan konstruksi berdasarkan urutan kegiatan yang logik, realistik dan dapat dilaksanakan dengan menggunakan sumber daya secara efisien. (*Peraturan Menteri Pekerja Umum, 2008*).

Metode Kerja (*Work Method*) memiliki definisi menurut Pedoman Pengawasan Penyelenggara Pekerjaan Konstruksi adalah cara pelaksanaan kegiatan pekerjaan dengan susunan bahan, peralatan dan tenaga manusia yang menghasilkan produk pekerjaan dalam bentuk satuan volume dan biaya. (*Peraturan Menteri Pekerja Umum 2008*)

Analisis Pendekatan Teknis (*Technical Analysis*) adalah perhitungan pendekatan teknis atas kebutuhan sumber daya material, tenaga kerja, dan peralatan untuk melaksanakan dan menyelesaikan pekerjaan konstruksi. (*Peraturan Menteri Pekerja Umum, 2008*).

Definisi dari Sistem Pengendalian Manajemen (SPM)) menurut Pedoman Pengawasan Penyelenggara Pekerja Konstruksi adalah sistem pengendalian pelaksanaan kegiatan terhadap 8 (delapan) unsur yaitu: pengorganisasian, personil, kebijakan, perencanaan, prosedur, pencatatan, pelaporan, supervisi dan review intern. (*Peraturan Menteri Pekerja Umum, 2008*).

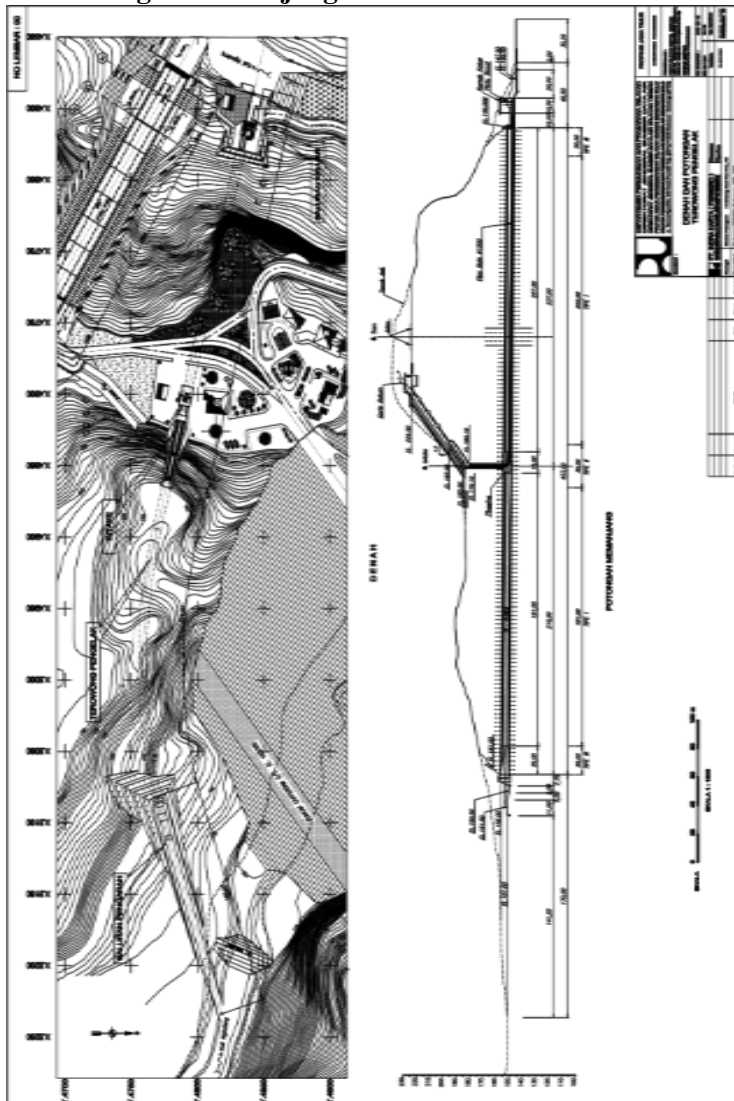
2.2 Data Teknis Terowongan Pengelak

- a. Tipe tapal kuda : terowongan tipe transisi & modifikasi .
- b. Panjang : 453,00 m.
- c. Diameter luar : 6,9 m.
- d. Diameter dalam : 5,5 m.
- e. Tebal dinding : 0,7 m .
- f. Jenis Batuan : Batuan Brescia Andesit.
- g. Kemiringan terowongan: 0,0106.
- h. Debit banjir rencana Q_{25} : 289,79 m³/dt.
- i. Debit outflow Q_{25} : 254 m³/dt.
- j. El. Dasar inlet : El. + 151,00 m.
- k. El. Dasar outlet : El. + 144,50 m.
- l. El. Banjir Q_{25} : El. + 161,72 m.

2.3 Gambar Teknis Terowongan Pengelak

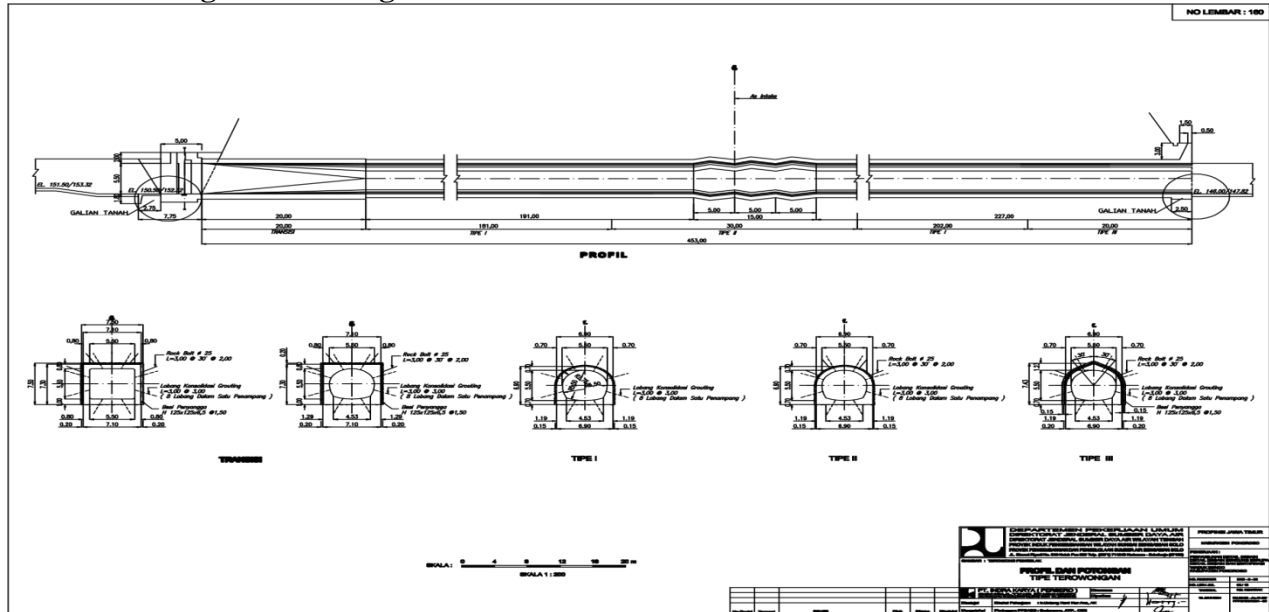
Sebelum melakukan pengecoran terhadap dinding terowong, pekerjaan pelaksanaan pengecoran harus sesuai dengan gambar rencana. Gambar rencana tersebut meliputi gambar poyongan memanjang pada **Gambar 2.1** dan gambar potongan melintang pada **Gambar 2.2**.

a. Potongan memanjang



Gambar 2. 1 Potongan memanjang terowongan

b. Potongan melintang



Gambar 2. 2 Potongan melintang terowongan

2.4 Jadwal Pelaksanaan Pembangunan Terowongan Pengelak

Rencana pelaksanaan Pembangunan Terowongan Pengelak Waduk Bendo di mulai bertahap selama 17 Bulan kalender (Oktober 2015 – Februari 2017) dengan total biaya Konstruksi sebesar Rp 61.017.469.865.85. Sumber dana tersebut berasal dari APBN dengan tahun anggaran 2013-2018.

2.5 Penjelasan Jenis Kegiatan

2.5.1 Pekerjaan Pemetaan

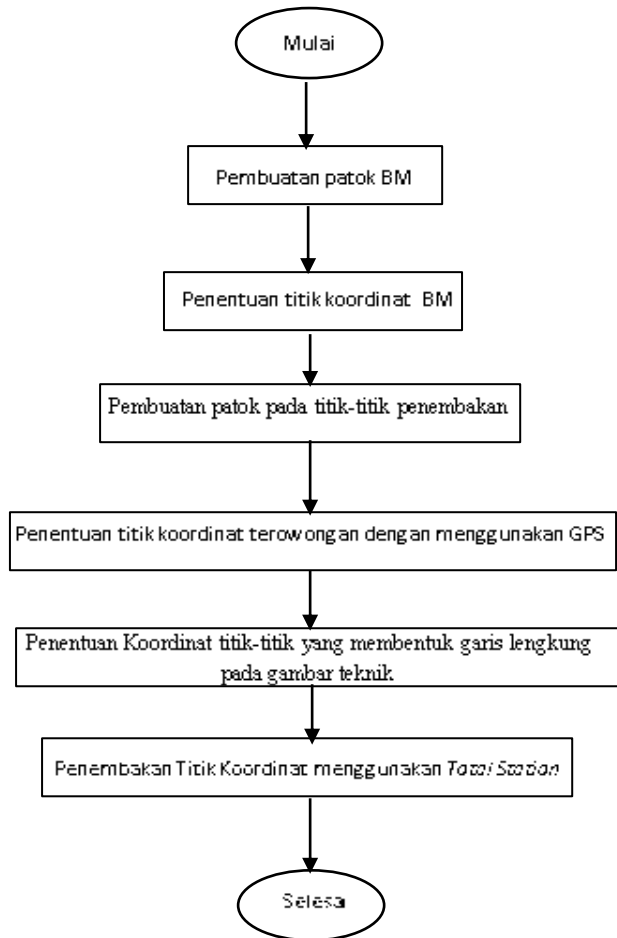
a. Definisi

Pekerjaan pemetaan pada terowongan pengelak adalah pekerjaan pengukuran dengan alat *total station* untuk menentukan koordinat titik terowongan.

b. Jenis Pekerjaan

Jenis pekerjaan ini meliputi :

1. Pembuatan patok BM (*Bench Mark*).
2. Penentuan titik koordinat BM (*Bench Mark*).
3. Pembuatan patok pada titik-titik penembakan.
4. Penentuan titik koordinat terowongan dengan menggunakan GPS.
5. Penentuan Koordinat titik-titik yang membentuk garis lengkung pada gambar teknik.
6. Penembakan Titik Koordinat menggunakan *Total Station*



Bagan 2. 1 Proses kerja penggalian tanah

c. Durasi

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk Pekerjaan ini adalah ± 8 bulan bersamaan dengan pekerjaan *scalling&mucking*, pemasangan *rockbolt*, pemasangan *wiremesh*, pemasangan *steel rib*, dan pekerjaan *shotcrete*.

d. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Dalam pekerjaan konstruksi seperti penggalian tanah ini, kemungkinan akan terjadi suatu kecelakaan, sehingga perlu direncanakan HIRARC (identifikasi bahaya yang mungkin timbul), melakukan analisa nilai resiko, maupun merencanakan cara pengendaliannya sehingga resiko terjadinya kecelakaan semakin diperkecil. Beberapa hal yang dilakukan sebagai kontrol terhadap upaya tersebut adalah mewajibkan pekerja mengenakan APD (Alat Pelindung Diri) standar dalam bekerja, yaitu:

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.



Gambar 2. 3 Beberapa APD yang biasa digunakan

2.5.2 Pekerjaan Driling dan Blasting

a Definisi

Drilling atau pemboran adalah pembuatan lubang untuk bahan peledak. Pekerjaan pemboran dilakukan setelah dilakukan *marking* pola pemboran. Dalam kegiatan pekerjaan pemboran terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja pemboran, yaitu sifat batuan, *drillabilitas* batuan, umur dan kondisi mesin bor, keterampilan operator, dan geometri pemboran.

Blasting atau peledakan adalah pekerjaan melepas dan memecah batuan dengan menggunakan bahan peledak. Peledakan dilakukan untuk mendapatkan bentuk penampang terowong yang diinginkan dengan ukuran material yang mudah diangkut dan dibuang dengan peralatan yang tersedia. Faktor-faktor yang mempengaruhi peledakan adalah jenis batuan, density, kekuatan batuan, struktur batuan, jenis bahan peledak, dan teknik peledakan.

b Jenis Pekerjaan

Driling adalah pekerjaan yang bertujuan membuat lubang untuk bahan peledak. Arah pemboran terbagi menjadi dua jenis, yaitu pemboran tegak dan pemboran miring. Pekerjaan pemboran bagian *upper* menggunakan *leg drill* jenis *Furukawa 322D* dan *Wheel Loader* atau *Backhoe*. Alat ini menggunakan *pusher leg* sebagai kaki sebagai penyangga

Pada saat melakukan pekerjaan pemboran. Sementara untuk pekerjaan pemboran bagian *lower* tidak menggunakan *Wheel Loader* atau *Backhoe* sebagai alat bantu pekerjaan untuk pemboran lubang ledak atap. Pekerjaan pemboran bagian *lower* dilakukan dengan arah vertikal disesuaikan dengan waktu, biaya, dan metode pelaksanaan.

Blasting adalah pekerjaan peledakan yang bertujuan untuk membuat lubang setengah bola pada terowongan (*round*). Jenis pekerjaan untuk *blasting* adalah :

1. Perhitungan geometri terowongan perhitungan lubang dengan ledakan biasa, meliputi :
 - Perhitungan geometri bujur sangkar.
 - Perhitungan geometri lubang stopping ke atas dan horizontal.
 - Perhitungan geometri lubang stopping ke bawah.

Tabel 2. 1 Perhitungan lubang pada ledakan biasa

Part of time Round	Burden (m)	Spacing (m)	Heigh Bottom Charge (m)	Charge Concentration		Stemming (m)
				Bottom (Kg/m)	Coloumn (Kg/m)	
Floor	B	1.1B	1/3 H	ℓb	ℓb	0.2B
wall	0.9B	1.1B	1/6 H	ℓb	$0.4\ell b$	0.5B
Roof	0.9B	1.1B	1/6 H	ℓb	$0.3\ell b$	0.5B
Stopping						
Upwards	B	1.1B	1/3 H	ℓb	$0.5\ell b$	0.5B
Horizontal	B	1.1B	1/3 H	ℓb	$0.5\ell b$	0.5B
Downwords	B	1.2B	1/3 H	ℓb	$0.5\ell b$	0.5B

2. Perhitungan geometri lubang dengan *smooth blasting*, meliputi :
 - Perhitungan geometri lubang lantai
 - Perhitungan geometri lubang dinding

Tabel 2. 2 Perhitungan *smooth blasting*

Parameter Diameter Lubang (mm)	Konsentrasi muatan (Kg/m)	Tipe muatan	Burden (m)	Spasi (m)
25 - 32	0.11	11 mm Gurit	0.3 - 0.5	0.25 - 0.35
25 - 48	0.23	12 mm Gurit	0.7 - 0.9	0.50 - 0.70
51 - 64	0.42	13 mm Gurit	1.0 - 1.1	0.80 - 0.90
51 - 64	0.45	14 mm Gurit	1.1 - 1.2	0.80 - 0.90

- a. Perhitungan muatan bahan ledak
1. Perhitungan muatan bahan ledak untuk bujur sangkar 1-2-3 adalah sebagai berikut :

$$Q \text{ (muatan)} = \ell_c(H - h_0)$$
 Keterangan :
 ℓ = konsentrasi bahan ledak (Kg/m)
 H = Panjang lubang yang di bor (m)
 h_0 = Stemming (m)
 2. Perhitungan muatan untuk bujur sangkar 4 dan seluruh lubang yang ada diluar bujur sangkar.

$$Q_{total} = Q_b + Q_c$$

$$Q_b = \ell_b \times h_b$$

$$Q_c = \ell_c \times h_c$$
 Keterangan :
 Q_b = muatan dasar (Kg).
 Q_c = muatan kolom (Kg).
 ℓ_b = konsentrasi bahan peledak pada bagian dasar (Kg/m).
 ℓ_c = konsentrasi bahan peledak pada bagian kolom (Kg/m).
 3. Kemajuan per *round* yang di harapkan = persentase kemajuan per *round* x H.
 4. Jumlah *round* = $\frac{\text{Panjang terowongan}}{\text{Kemajuan yang diharakan}}$
 5. Kebutuhan bahan ledak = Q_{total} x jumlah *round*
- b. Penggunaan pola *half-second delay* pada peledakan utama dan *smoothing blasting* di perimeter *tunnel*.

c Durasi

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk Pekerjaan ini adalah ± 4 bulan dilakukan bersamaan antara pekerjaan *Blasting* dan *driling*.

d Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Pada pelaksanaan peledakan, juru peledak harus memiliki KIM (Kartu Ijin Meledakkan). Untuk melakukan peledakan pada area tertentu, perlu adanya keamanan-keamanan yang harus diperhatikan yaitu:

1. Memasang jadwal dan area peledakan pada sekitar lokasi peledakan. Biasanya berupa papan dan jam berbentuk analog.



Gambar 2. 4 Papan waktu pelaksanaan

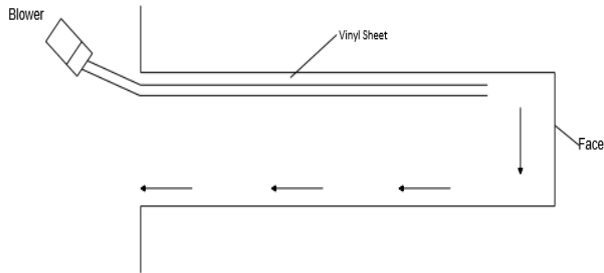
2. Jarak ledak yang aman untuk proses peledakan adalah 1.2 Km dari titik ledakan menuju *detonator*.
3. Memasang rambu-rambu peringatan seperti dilarang merokok, kawasan beracun, hati-hati bahan mudah terbakar dan sebagainya.



Gambar 2. 5 Rambu peringatan

4. Pemasangan sirine pada saat terjadinya proses peledakan.
5. Pemblokiran jalan pada area peledakan agar tidak ada orang yang memasuki area disekitar peledakan.

6. Pemasangan *blower* untuk mengeluarkan gas beracun akibat bahan peledak.



Gambar 2. 6 Blower pada lubang peledak

7. Menempatkan *hydran* pemadam kebakaran pada area sekitar peledakan untuk berjaga-jaga jika terjadinya kebakaran akibat proses peledakan.
8. Pemakaian APD untuk orang yang melaksanakan peledakan

2.5.3 *Scalling and Mucking*

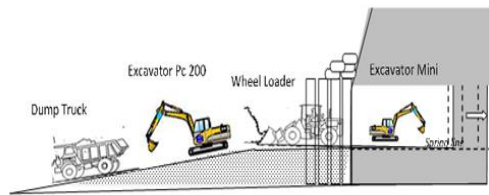
a. Definisi

Pekerjaan *scalling* dan *mucking* adalah pekerjaan yang dilakukan setelah proses peledakan selesai, dimana pekerjaan tersebut dilakukan dengan bantuan alat berat yaitu excavator, wheel loader, dan dumptruck.

b. Jenis Pekerjaan

Scalling adalah kegiatan yang bertujuan untuk membersihkan *face tunnel* dari bebatuan atau sisa-sisa dari bebatuan yang rentan jatuh akibat proses *blasting*.

Mucking atau pengangkutan material keluar adalah kegiatan yang harus dikerjakan pada setiap pekerjaan *tunnel excavation*. Fungsi dari pekerjaan ini adalah untuk mengangkut material hasil dari *Blasting* dengan bantuan alat berat yaitu excavator, Wheel Loader dan Dump Truck.



Gambar 2. 7 Pekerjaan scalling dan mucking
(Sumber: Dokumen PT WIKA Kontraktor 2013)

c. Durasi

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk Pekerjaan ini adalah ± 8 bulan bersamaan dengan pekerjaan penggalian tanah, pemasangan *rockbolt*, pemasangan *wiremesh*, pemasangan *steel rib*, dan pekerjaan *shotcrete*.

d. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

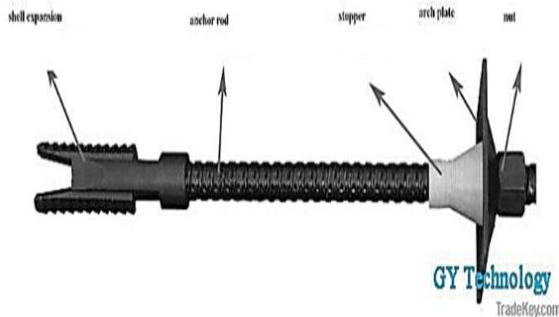
- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kaca mata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.4 Pekerjaan *Rockbolt* dan *Wiremesh*

a. Definisi

Rockbolt adalah pekerjaan yang bertujuan untuk merapatkan formasi batuan yang diprediksi masih saling terpisah pada dinding terowongan dan untuk memperkuat koneksi antara lapisan beton dengan batuan dinding di dalam terowongan.

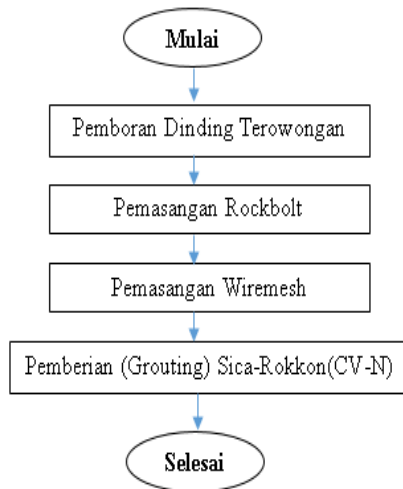
Wiremesh adalah jaring-jaring kawat yang di pasang pada dinding terowongan, yang nantinya pemasangannya akan di kaitkan dengan *Rockbolt*.



Gambar 2. 8 Detail *Rockbolt*
(Sumber: us.safestb2b.com)



Gambar 2. 9 Wiremesh
(Sumber: banglorewiremesh.com)



Bagan 2. 2 Proses pemasangan *Rockbolt & Wiremesh*

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk Pekerjaan ini adalah \pm 8 bulan bersamaan dengan pekerjaan *Scalling&Mucking*, pekerjaan penggalian tanah, pemasangan *Wiremesh*, pemasangan *Steel rib*, dan pekerjaan *Shotcrete*.

c. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.

- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.5 Pekerjaan *Steel Support*

a. Definisi

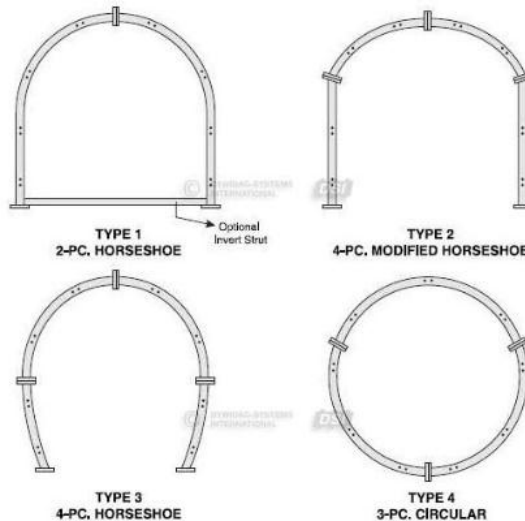
Pekerjaan steel rib adalah pekerjaan pemasangan besi baja yang digunakan sebagai sistem penyangga pada galian.

b. Alat dan Bahan

1. Baja H125x125x9,5.
2. Baja polos diameter 25 mm

c. Jenis Pekerjaan

1. Pemasangan *Lattice*.



Gambar 2. 11 Bentuk - bentuk *lattice*
(Sumber: dsiunderground.com)

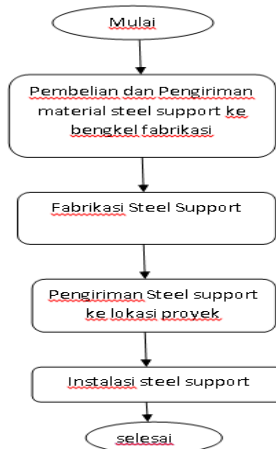
2. Pemasangan *feet lock* yang berbentuk huruf 'L' dengan panjang 1 meter dan bengkokan di ujungnya yang berukuran 8 cm.
3. Pemasangan *steel connectory* yang terbuat dari baja dengan diameter 25 mm.



Gambar 2. 12 Feet lock&steel connection
(Sumber: Dokumentasi lapangan, kontraktor wika)

d. Rumus - rumus perhitungan

1. Tekanan Tanah Atas : Luas tanah x lebar *steel support* x γ sat.
2. Berat sendiri = $\frac{\text{Panjang Steel Support}}{12} \times 286 \text{ kg}$, dimana 286 merupakan berat baja H 125 x 125 x 9,5, pada panjang 12 m.



Bagan 2. 3 Bagan alir pembuatan Steel Support

e. Durasi

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini adalah ± 8 bulan bersamaan dengan pekerjaan *Scalling&Mucking*, pemasangan *Rockbolt*, pemasangan *Wiremesh*, pekerjaan penggalian tanah, dan pekerjaan *Shotcrete*.

f. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.6 Pekerjaan *Shotcreting (first layer and second layer)*

a. Definisi

Shotcrete adalah pekerjaan penyemprotan pada dinding galian yang berupa campuran yang proporsional antara *Portland Cement*, air, dan zat *admixture* yang ditempatkan dengan menggunakan udara bertekanan melalui *spray nozzle*. Pekerjaan *Shootcrete* pada dinding terowongan ini di bagi menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

1. *Shotcrete First Layer* .
2. *Shotcrete Second Layer*.

b. Alat dan Bahan

1. Mesin *Shootcrete*.



Gambar 2. 13 Mesin *Shootcrete*
(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

2. *Portland Cement*.

3. Air .

4. *Admixture (Flay Ash)*.

5. Agregat Halus (5 mm).

6. Agregat Kasar (5-20 mm).

c. Jenis Pekerjaan

1. Pencampuran bahan untuk *Shotcrete*.

2. Proses *Shotcrete*.



Gambar 2. 14 Pekerjaan shotcrete
(Sumber: Dokumentasi lapangan)

3. *Curing*.

d. Durasi

Durasi atau waktu yang dibutuhkan untuk Pekerjaan ini adalah \pm 8 bulan bersamaan dengan pekerjaan *Scalling&Mucking*, pemasangan *Rockbolt*, pemasangan *Wiremesh*, pemasangan *Steel rib*, dan pekerjaan *Shotcrete* penggalian tanah.

e. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.7 Pekerjaan Lantai Kerja

a. Definisi

Pembuatan Lantai Kerja merupakan pekerjaan pengecoran dasar terowongan yang dilakukan setelah pekerjaan *Underground Excavation*, yang dimulai dari tengah menuju mulut terowongan.

b. Material dan Peralatan

1. Beton K-125
2. Truck Mixer
3. Excavator

4. Compressor 750
5. *Water Jet*
6. Tangki Air
7. Axial Fan 600 mm



Gambar 2. 15 Compressor 750
(Sumber: store.kgpowersystem.com)

c. Jenis Pekerjaan

1. Pembersihan
2. *Survey* (Pengukuran)
3. Pengecoran

d. Durasi

Pengecoran Lantai dilakukan sepanjang 453 m, dimulai dari tengah terowongan menuju mulut terowongan, adapun durasi atau waktu yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan	: 55 Jam
2. Pengukuran	: 11.1 Jam
3. Pengecoran	: 111 Jam +
Total	: 177,1 Jam

Waktu yang dibutuhkan setiap 1 hari adalah 177,1 Jam/30hari = $\pm 5,9$ Jam, jadi durasi yang diperlukan untuk pengecoran setiap harinya adalah 5,9 Jam. Total pekerjaan untuk lantai kerja sepanjang 453 ± 1 bulan.

e. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamatanya pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.8 Pekerjaan Pembetonan Bagian Bawah (*Lower*)

a. Definisi

Pekerjaan Pembetonan bagian bawah terowongna pengelak adalah tahapan yang dilakukan setelah pembuatan lantai kerja yang meliputi pekerjaan Pembesian, pemasangan Bekisting, dan Pengecoran yang dilakukan pada bagian bawah terowongan pengelak.

b. Alat dan Bahan

1. Pembesian
 - Baja diameter 16 mm dan 13 mm.
 - Kawat.
 - Tang.
2. Pemasangan Bekisting
 - Multiplex tebal 12 mm.
 - Kawat.
 - Kayu ukuran 6/7 cm

- *Waterstop.*
- *Tang.*
- *Paku*
- 3. *Pengecoran*
 - *Beton K-175.*
 - *Concrete mixer truck .*
 - *Pump Truck.*
 - *Vibrator*

c. Jenis Pekerjaan

1. Pembersihan
2. Pengukuran
3. Pembesian.
4. Pemasangan bekisting.
5. Pengecoran.

d. Durasi

Pelaksanaan Pengecoran terowongan dilakukan tiap segmen, dimana tiap segmen panjangnya adalah 6 m, adapun durasi atau waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pembersihan	: 0,75 Jam
2. Pengukuran	: 0,25 Jam
3. Pemasangan Besi Tulangan	: 4,00 Jam
4. Pemasangan Bekisting	: 2,00 Jam
5. Pengecoran	: 2,50 Jam
Total	: 9,50 Jam

Jadi durasi yang diperlukan tiap segmen adalah 26 jam.

e. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.

- Wajib mengenakanacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.9 Pekerjaan Pembetonan Bagian Atas (*Upper*)

a. Definisi

Pekerjaan Pembetonan bagian atas terowongan pengelak adalah tahapan yang di lakukan setelah pembuatan lantai kerja yang meliputi pekerjaan Pembesian, pemasangan Bekisting, dan Pengecoran yang dilakukan pada bagian atas terowongan pengelak.

b. Alat dan Bahan

1. Pembesian

- Baja diameter 16 mm dan 13 m.
- Kawat.
- Tang.

2. Pemasangan Bekisting

- *Multiplex* tebal 12 mm.
- Kawat.
- Kayu ukuran 6/7.cm.
- *Waterstop*.
- Tang.
- Paku.

3. Pengecoran

- Beton K-175.
- *Concrete mixer truck*.
- *Pump Truck*.
- *Vibrator*.
- *Scaffolding*.
- *Slidding Form*.

c. Jenis Kegiatan

1. Pembesian.
2. Pemasangan *Scaffolding*.
3. Pemasangan *Slidding Form*.
4. Pemasangan Bekisting.
5. Pengecoran.

d. Durasi

Pelaksanaan Pengecoran terowongan dilakukan tiap segmen, dimana tiap segmen panjangnya adalah 6 m, adapun durasi atau waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut adalah sebagai berikut :

– Pembersihan	: 1,00 Jam	
– Pengukuran	: 0,50 Jam	
– Pemasangan Besi Tulangan	: 8,00 Jam	
– Pemasangan Bekisting	: 10,05 Jam	
– Pengecoran	: <u>6,00 Jam</u>	+
Total	: 26,00 Jam	

Jadi durasi yang diperlukan untuk tiap segmen adalah 26 jam.

e. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.

- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

2.5.10 Pekerjaan Grouting

a. Definisi

grouting adalah pekerjaan memasukkan bahan yang masih cair kedalam lubang untuk perbaikan tanah dan retakan-retakan yang memungkinkan terjadinya kerusakan pada beton yang sudah kering. Ada macam grouting yang dilakukan pada terowongan pengelak yaitu :

1. *Consolidation grouting* yaitu grouting yang bertujuan untuk menambah daya tahan batuan atau tanah terhadap benda yang ada di atasnya.
2. *Curtain grouting* yaitu tujuan membentuk zona permeabilitas air rendah di batu pondasi bendungan dan bangunan sekitarnya dengan menyuntikkan semen grouting dengan tekanan tertentu ke dalam lubang batu seperti patahan, sambungan dan retakan.
3. *Backfill grouting* yaitu grouting yang bertujuan mengisi rongga-rongga diantara batuan dan beton.

b. Peralatan yang Digunakan

1. Peralatan Bor
 - a. Mesin bor, digunakan untuk membuat lubang sampai dengan kedalaman yang direncanakan dengan tipe mesin bor putar yang mampu melakukan pemboran sampai dengan 100 m.

- c. Pompa tekan, digunakan untuk sirkulasi air selama proses pemboran.
 - d. Rod/Stang bor, digunakan bersama dengan *core barrel* untuk pelaksanaan pemboran sampai dengan kedalaman yang direncanakan.
 - e. Casing, digunakan bersama dengan shoe casing ketika lubang mengalami keruntuhan/mingkup.
 - f. *Shoe Casing*
 - g. *Water swifel*, digunakan untuk menyambungkan selang dengan stang bor untuk sirkulasi air.
 - h. *Core barrel (single/double)*, *single* digunakan untuk pemboran non coring maupun coring, sedangkan *double* digunakan untuk pemboran coring pada batuan yang kompak.
 - i. Mesin Penggerak (diesel).
 - j. Selang air.
2. Peralatan Uji Packer Test (*Water Pressure Test*)
- a. Selang Air, selang yang mampu menahan tekanan sampai dengan 35 bar.
 - b. Pompa tekan, pompa yang mampu memberikan tekanan sampai dengan 35 bar.
 - c. Stang Packer, untuk menghubungkan packer sampai dengan kedalaman yang direncanakan.
 - d. Packer, untuk menskat zona yang mau diuji.
 - e. *Water Meter*, untuk mengetahui besarnya debit air yang dikeluarkan selama pengujian.
 - f. *Manometer*, untuk mengetahui besarnya tekanan.
 - g. Mesin Penggerak (diesel)
 - h. *Stop Watch*, untuk mengukur waktu pengujian
3. Peralatan *Grouting*
- a. Pompa *Grouting*, pompa yang mampu memberikan tekanan sampai dengan 10 kgf/cm² dan mampu mengalirkan material *Grouting* 100 liter/menit.
 - b. Selang *Grouting*, selang yang mampu menahan tekanan sampai dengan 35 bar.

- c. *Packer*, digunakan untuk melakukan skat *Grouting* tiap stage.
- d. Stang *Packer*
- e. Manometer, untuk mengetahui tekanan yang terjadi.
- f. Mesin Penggerak
- g. *Mixer Plant*, untuk mencampur campuran *grouting*.

k. Jenis Pekerjaan

1. Pengeboran.
2. Pembersihan dan cek kedalaman.
3. Uji *Packer* (*water pressure test*).
4. *grouting*.

l. Durasi

Durasi atau waktu yang di butuhkan untuk pekerjaan ini adalah 60 hari, dimana untuk *Consolidation grouting* membutuhkan waktu 30 hari dan untuk *Back Fill grouting* juga 30 hari.

m. Kesehatan dan Keselamatan Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk meminimalisir dan mencegah terjadinya kecelakaan dalam pekerjaan ini hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Wajib mengenakan helm pengaman kepala.
- Wajib mengenakan sarung tangan.
- Wajib mengenakan sepatu *safety*.
- Wajib mengenakan kacamata pengaman untuk pekerjaan las.
- Wajib mengenakan sabuk pengaman (*safety belt*) untuk pekerja di ketinggian.
- Menugaskan personil khusus HSE untuk selalu memperhatikan aplikasi K3LM di lapangan.
- Memasang rambu-rambu peringatan pada tempat-tempat tertentu untuk mengingatkan kepada seluruh pekerja maupun orang lain yang berada di sekitar tempat pekerjaan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Proyek pembangunan terowongan pengelak Waduk Bendo Ponorogo melalui tahapan pengerjaan yang tepat untuk menghemat biaya konstruksi, material dan alat berat. Selain itu, dengan proses pengerjaan yang tepat akan memudahkan proses pembangunan dan penyelesaian pekerjaan bisa tepat pada waktu yang direncanakan

3.2 Persiapan

Lokasi proyek Waduk Bendo Ponorogo berada di Desa Ngindeng dimana membendung Sungai Kali Kenyang atau juga di kenal dengan nama Kali Ngindeng yang merupakan anak Kali Madiun Kabupaten Ponorogo Jawa Timur. Data yang diperlukan pada metode pelaksanaan, antara lain data pekerjaan serta alat berat yang diperlukan, RAB (Rencana Anggaran Biaya) dan kurva S.

3.3 Studi Literatur

Mempelajari materi-materi penunjang untuk penyelesaian proyek akhir, berupa :

- a) Manajemen Proyek.
- b) Metode Pelaksanaan Terowongan Pengelak.

3.4 Pengumpulan Data

Data-data yang terkait dalam pembuatan proyek Waduk berupa peta lokasi, data perencanaan yang dilanjutkan dengan survey lokasi proyek.

- a) Data Teknis Saluran Pengelak.
- b) Gambar Teknis Saluran Pengelak.
- c) Topografi.
- d) *Shcedule* Pembangunan Saluran Pengelak.
- e) Jenis Pekerjaan Saluran Pengelak.

3.5 Analisis Pekerjaan

Dari data-data tersebut maka semua jenis pekerjaan investarisasi dan dikelompokkan / dibagi sedemikian rupa untuk mempermudah penyusunannya. Adapun pembagiannya sebagai berikut:

1. Pekerjaan Pemetaan.
2. Pekerjaan *Drilling* dan *Blasting*.
3. Pekerjaan *Scalling* dan *Mucking*
4. Pekerjaan *Rockbolt* dan *Wiremesh*.
5. Pekerjaan *Steel Support*.
6. Pekerjaan *Shotcrete firs layer* dan *second layer*.
7. Pekerjaan rantai kerja.
8. Pekerjaan pembetonan bagian bawah (*lower*).
9. Pekerjaan pembetonan bagian atas (*upper*).
10. Pekerjaan *Grouting*

Tiap pekerjaan dilaksanakan meliputi cara pelaksanaan pekerjaan konstruksi, gambar tahapan pekerjaan dan disertai video animasi

3.6 Kebutuhan Bahan

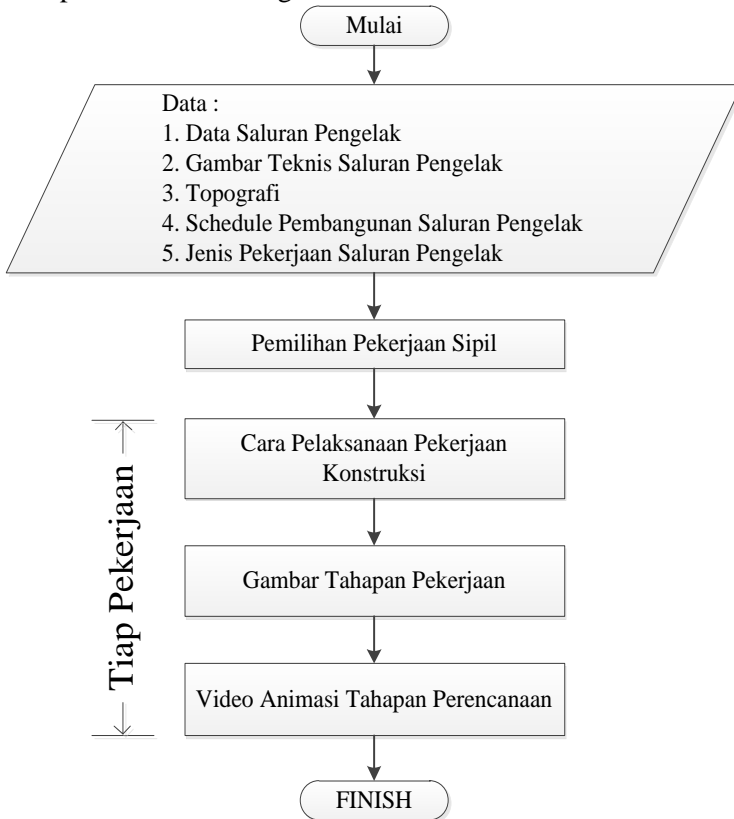
Menganalisa bahan-bahan yang digunakan untuk perencanaan Waduk Bendo.

3.7 Kebutuhan Tenaga

Menganalisa kebutuhan tenaga kerja manusia dari setiap jenis pekerjaan.

3.8 Bagan Alir

Untuk mempermudah pembacaan pekerjaan pelaksanaan, maka diperlukan pembuatan bagan pada pelaksanaan pembuatan terwongan.



Gambar 3. 1 Metodologi tugas akhir

3.9 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir Terapan

Pada pengerjaan terowongan perlu adanya jadwal pengerjaan untuk mempermudah pembacaan jadwal pekerjaan

Tabel 3. 1 Jadwal pengerjaan tugas akhir terapan

No	Kegiatan	Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan																												
2	Pembuatan Proposal Tugas Akhir Terapan																												
3	Seminar Proposal Tugas Akhir Terapan																												
4	Survey Lokasi																												
5	Pengumpulan Data																												
6	Analisis Data																												
7	Pembimbingan Tugas Akhir Terapan																												
8	Penyusunan Tugas Akhir Terapan																												
9	Persiapan Sidang Tugas Akhir Terapan																												
10	Sidang Tugas Akhir Terapan																												

3.10 Ketersediaan Data

Data yang tersedia pada pelaksanaan terowongan terlampir pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Ketersediaan data tugas akhir

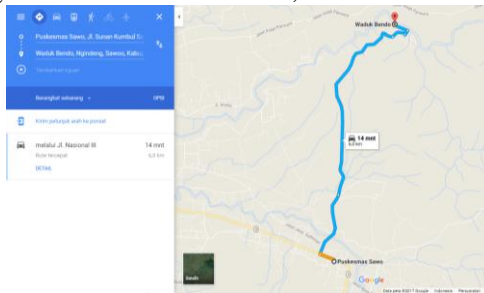
No	Data	Ada	Belum Ada	Keterangan
1	Data Teknis Saluran Pengelak	√		Diambil dari dokumen data teknis laporan kontraktor
2	Gambar Teknis Saluran Pengelak	√		Berupa Gambar Autocad Potongan Melintang dan Memanjang Saluran Pengelak
3	Topografi		√	Dari kontraktor tidak ada
4	Schedule Pembangunan saluran Pengelak		√	Yang ada hanya kurva S
5	Jenis Pekerjaan saluran Pengelak	√		Diambil dari dokumen Metode pelaksanaan kontraktor

BAB IV METODE PELAKSANAAN

4.1 Pekerjaan Pemetaan

a. Proses pencarian titik koordinat Waduk Bendo

Titik BM Waduk Bendo terletak di Jl. Sunan Kumbul Sawoo No.84, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur 63475 di sekitar puskesmas Sawoo. Titik BM berjarak sekitar 6 km dari lokasi proyek Waduk Bendo dengan koordinat $X= 563100,3788$ dan $Y=9118492,9487$.



Gambar 4. 1 Lokasi titik BM

b. Menmbuat titik BM bantu

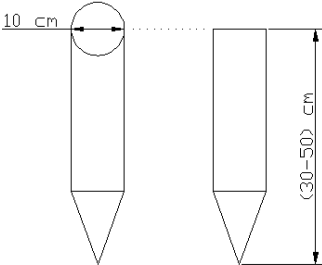
Surveyor melakukan pengukuran dari titik BM menuju lokasi proyek yang akan ditinjau. Untuk mempermudah pengukuran atau penembakan, surveyor melakukan pembuatan titik bantu BM sejarak 1 km dengan menggunakan GPS. Hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi kesalahan pada saat melakukan penembakan titik, sehingga penembakan tidak perlu dilakukan dari awal.



Gambar 4. 2 Jarak titik BM ke titik BM bantu

c. **Pembuatan patok pada titik-titik penembakan**

Patok ini terbuat dari kayu dan mempunyai penampang berbentuk lingkaran atau segi empat dengan panjang kurang lebih 30-50 cm dan ujung bawahnya dibuat runcing, berfungsi sebagai suatu tanda dilapangan untuk titik utama dalam pengukuran.



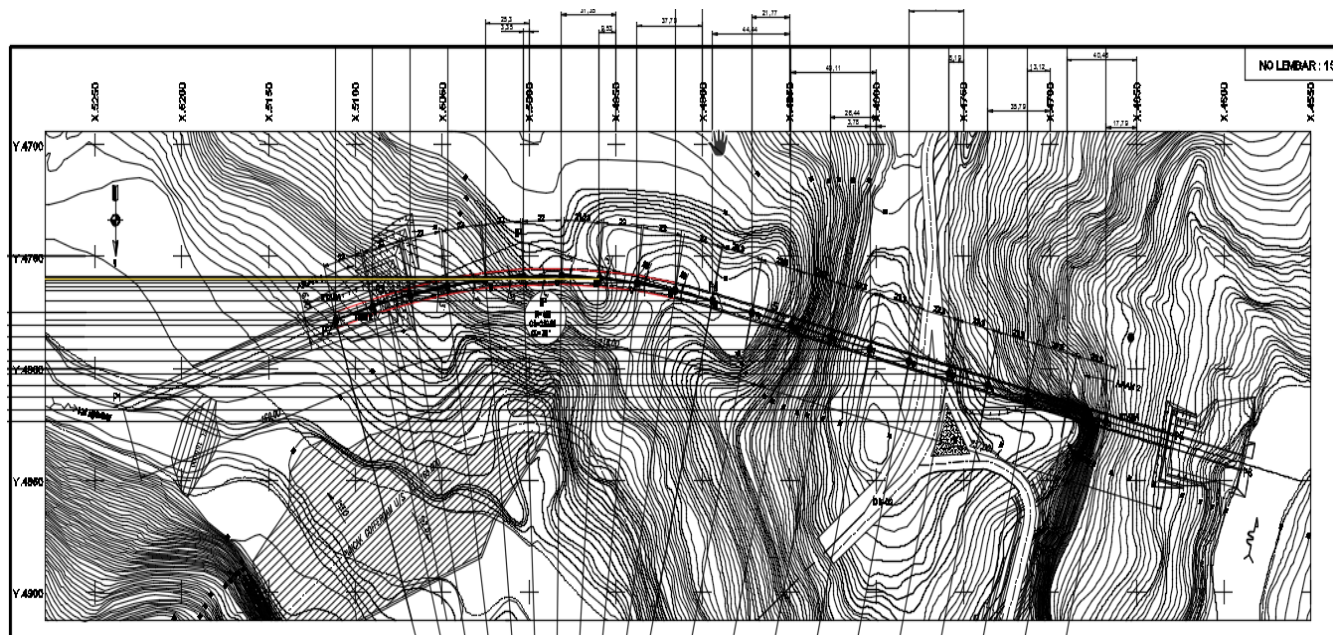
Gambar 4. 3 Detail patok

d. **Penentuan titik koordinat utama terowongan**

Surveyor menuju lokasi di titik P1 sesuai dengan gambar teknis dari perencanaan. Koordinat gamar terlebih dahulu di *convet* menjadi koordinat UTM Dengan menggunakan *GPS surveyor* menentukan titik koordinat dari titik-titik tersebut sehingga didapat koordinat titik-titik pada tabel 4.1 tabel dibawah ini :

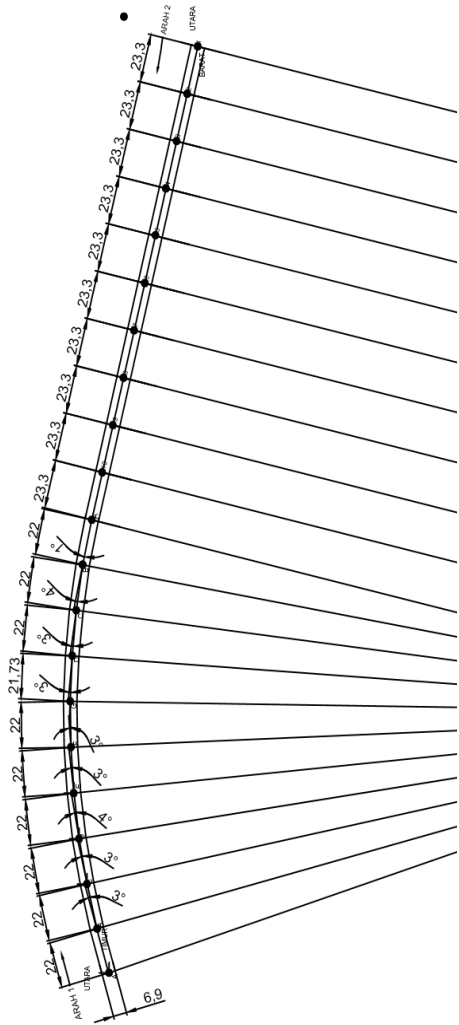
Tabel 4. 1 koordinat titik

Patok/Titik	Koordinat Titik Pada Gambar		Koordinat Titik UTM	
	X	Y	X	Y
P1	4592.66	5048.02	508521.070	9045739.716
P2	4715.06	5087.98	522073.778	9117345.565
P3	4744.08	5096.26	525287.009	9132182.813
IP	4822.27	5122.99	533944.577	9180081.32
P4	4827.29	5107.54	534500.415	9152395.875
IS	4967.1	5088.46	549980.840	9118205.695
P5	5197.64	5033.48	575507.321	9019684.935
P6	5237.03	5024.09	579868.768	9002858.635



Gambar 4. 4 Denah terowongan (Lebih Jelas lihat Lampiran)

a. Penentuan Koordinat titik-titik pada gambar teknik



Gambar 4. 5 Pembagian titik tembak (*Lebih jelas lihat lampiran*)

Langkah-langkah dalam penentuan titik tembak garis lengkung pada gambar teknik adalah sebagai berikut :

a Penentuan titik tembak tampak atas

1. Setelah menentukan titik koordinat pada gambar, maka dibuat garis lengkung pada peta dengan jari-jari yang sudah ditentukan yaitu 400 m dan panjang lengkungan dari terowongan sebesar 219.76 meter.
2. Membagi 10 titik dengan jarak sepanjang 22 meter tiap titiknya pada lengkung terowongan dan 11 titik dengan jarak 22,3 meter pada terowongan yang lurus. Sehingga kita dapatkan koordinat titik-titik terowongan pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4. 2 Daftar koordinat titik-titik pada terowongan

Titik	Koordinat Titik Pada Gambar		Koordinat Titik UTM	
	X	Y	X	Y
A	5111.35	4778.66	565952.884	8563063.25
B	5090.2	4772.59	563611.055	8552186.186
C	5068.76	4767.44	561237.117	8542957.704
D	5047.03	4763.42	558831.068	8535754.113
E	5025.3	4760.75	556425.02	8530969.638
F	5003.35	4759.22	553994.612	8528227.972
G	4981.35	4758.83	551558.668	8527529.116
D'	4959.53	4759.88	549142.654	8529410.652
C'	4937.79	4761.97	546735.498	8533155.802
B'	4915.96	4765.23	544318.377	8538997.521
A'	4894.44	4769.8	541935.581	8547186.678
10	4871.77	4775.22	539425.451	8556898.983
9	4849.11	4780.62	536916.429	8566575.449
8	4826.44	4786.02	534406.299	8576251.915
7	4803.78	4791.42	531897.276	8585928.381
6	4781.11	4796.83	529387.146	8595622.767
5	4758.19	4802.3	526849.335	8605424.669
4	4735.79	4807.64	524369.101	8614993.619
3	4713.12	4813.04	521858.972	8624670.085
2	4690.46	4818.45	519349.949	8634364.47
1	4667.79	4823.85	516839.819	8644040.936

b Penentuan titik tembak tampak samping

1. Setelah menentukan titik koordinat pada gambar, maka penentuan elevasi awal dan terakhir terowongan. Penentuan elevasi awal terowongan ditentukan oleh *surveyor* sebesar +151,00 m dan elevasi akhir +145,50 m.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LL	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	XG	XH	XI	XJ	XK	XL	XM	XN	XO	XP	XQ	XR	XS	XT	XU	XV	XW	XX	XY	XZ	YA	YB	YC	YD	YE	YF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ																																																								
inlet																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

Gambar 4. 6 Elevasi terowongan (*Lebih jelas lihat lampiran*)

2. Setelah penentuan elevasi dan titik koordinat, selanjutnya dilakukan perhitungan kemiringan terowongan dengan menggunakan rumus :

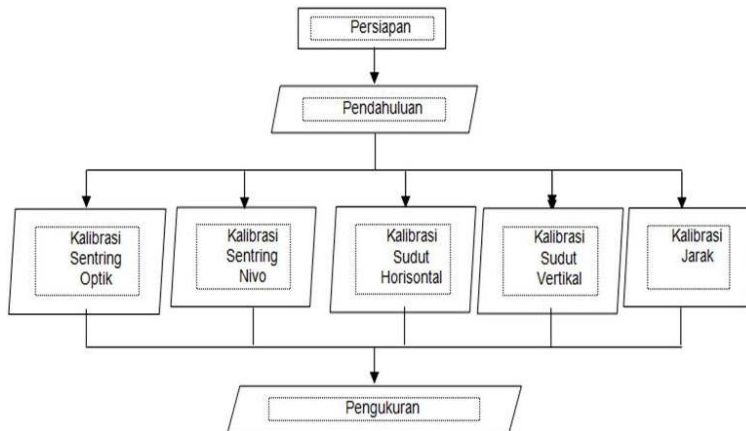
$$\begin{aligned}\text{Kemiringan} &= \frac{\Delta H}{S} \\ &= 6,5 \text{ m}/453 \text{ m} \\ &= 0,015\end{aligned}$$

3. Selanjutnya dilakukan penembakan tiap titik pada terowongan melalui dua arah. Penembakan awal dilakukan pada titik A. Pada titik A, diketahui titik koordinat sebesar X= 5111,35 dan Y= 4778,66 dan elevasi + 151 m. Berikutnya ada proses peledakan yang akan di jelaskan pada bagian peledakan.
4. Pada proses menuju titik B, dilakukan penembakan dari titik A, dibelokkan sebesar 3 derajat. Sehingga di dapat koordinat titik B sebesar X= 5090,2 dan Y= 4772,59 dan elevasi titik B adalah 150,675 m.
5. Penembakan titik - titik berikutnya dilakukan dengan cara atau prosedur yang sama pada metode sebelumnya.
6. Pada proses penembakan pada *inlet* jarak tiap titik sejarak 22 m dan pada *outlet* 22,3 m.

b. Penembakan Titik Koordinat menggunakan *Total Station*

1) Cek Kalibrasi Alat

Kalibrasi menurut ISO/IEC Guide 17025:2005 adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Tujuan kalibrasi alat ukur ini adalah untuk mencapai standar ketelitian yang teliti dari hasil pengukuran dan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur total station dan bahan ukurnya.



Bagan 4. 1 Proses kalibrasi alat ukur *Total Station*

a. Kalibrasi Bacaan Sudut Horisontal

Setelah alat ukur disetel diatas kolimator dan sumbu I telah dibuat vertikal, bidikan teropong pada posisi biasa kearah benang Horizontal prisma target kolimator, tekan tombol “0” set pada alat untuk membuat bacaan sudut $H : 00^{\circ} 00' 00''$. Teropong dibuat luar biasa dan bidikkan kembali pada benang silang kolimator seharusnya bacaan sudut $H : 180^{\circ} 00' 00''$, atau bisa dengan cara membuat titik poligon secara manual dengan sudut 90° , jika pembacaan pada alat tidak menunjukkan sudut sebesar 90° maka alat yang digunakan tidak akurat. Dan bila terjadi penyimpangan bacaan sudut lakukan kalibrasi dengan cara memutar skrup penggerak halus horizontal hingga bacaan sudut mendekati akurasi. Kemudian garis bidik diarahkakan kembali pada benang silang kolimator dengan cara memutar skrup koreksi diagfragma yang kiri dan kanan pada teropong.

b. Kalibrasi Bacaan Sudut Vertikal

Bidikan teropong pada posisi biasa kearah benang Vertikal prisma target kolimator, catat bacaan sudut vertikalnya misal sudut V : $89^{\circ} 59' 30''$. Teropong dibuat luar biasa dan bidikkan kembali pada benang Vertikal kolimator catat bacaan sudutnya misal sudut V H : $270^{\circ} 00' 50''$, dari hasil bacaan sudut biasa dan luar biasa bila dijumlahkan terdapat penyimpangan sudut sebesar $20''$, lakukan kalibrasi dengan cara automatic adjustment secara elektronik. Yang tentunya tiap merk berbeda cara penyetingannya

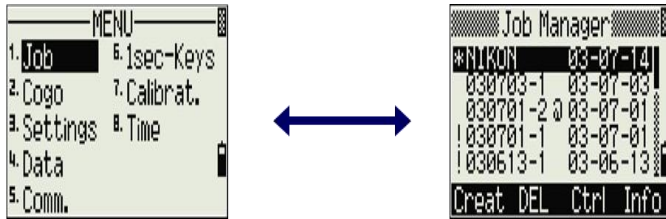
c. Kalibrasi Bacaan Jarak

Lakukan pengukuran jarak beberapa kala dengan EDM (Electronic Distance Measurement). Kemudian rata-ratakan hasil bacaan jaraknya. Apabila terjadi penyimpangan pada jarak tertentu dilakukan koreksi dengan cara memasukkan konstanta instrumen konstan maka alat akan terkoreksi secara otomatis. Setelah alat ukur terkalibrasi secara benar dan sesuai dengan standar spesifikasi alat atau spesifikasi pengukuran maka selanjutnya dapat dilakukan pengukuran.

2) Penembakan di lapangan

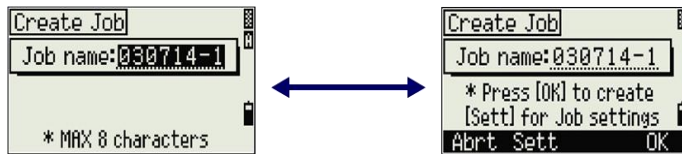
Penembakan dilakukan dari dua arah atau sisi dimana pada sisi *outlet* yaitu P1, dan P2 dan pada sisi *inlet* adalah titik P4, IS, P5, dan P6. Adapun langkah-langkah dalam penembakannya adalah sebagai berikut :

2. *Setting* alat *total station* sesuai dengan patokan yang telah di buat pada titik P2 pada sisi *outlet*. Tentukan arah utara dengan menggunakan kompas sebelum membidik ke titik berikutnya.
3. Membuat *job* pada *total station* untuk menyimpan koordinat-koordinat yang telah di bidik. Cara membuat *job* pada *total station* adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk membuat *Job* pengukuran yaitu dengan cara menekan tombol MENU pilih JOB atau tekan tombol angka 1 ENTER sehingga akan muncul seperti berikut :



Gambar 4. 7 Membuat *job* pada total station

- b. Pilih *Create* (tekan tombol MSR1) Masukkan nama JOB Untuk menghapus job pilih DEL atau tekan tombol MSR2

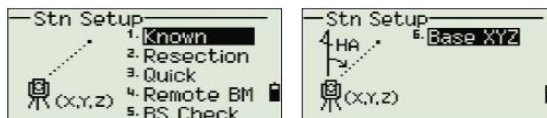


Gambar 4. 8 Membuat *job name* pada total station

4. Memasukkan koordinat tempat berdirinya Alat pada titik P2.

Sudah diketahui bahwa Koordinat titik P2 yang telah diketahui sebelumnya yaitu $X=4715,0625$; sumbu $Y=5087,9805$; dan sumbu $Z=151$. Untuk memulai pengukuran masukkan tinggi alat dan koordinat tempat berdiri alat. Untuk memasukkan koordinat tempat berdiri alat yaitu dengan cara :

- a. Tekan tombol STN (tombol nomor 7), sehingga akan muncul seperti berikut :



Gambar 4. 9 Tombol *known* pada Total Station

- b. Untuk memasukan koordinat tempat berdiri alat kita pilih **KNOWN** atau tekan tombol 1.

- c. Maka untuk selanjutnya kita diminta untuk memasukkan nomer titik dan koordinat STN (koordinat X,Y,Z) tempat berdiri alat, serta kode-nya. Kode dapat berupa BM, patok, dll. Kode ini boleh diisi atau dapat juga dikosongkan.

Input Station ST: P2 HI: 1.47 m CD: BM		ST : nom or titik tempat berdiri alat (misal titik 2) kemudian tekan tombol ENT atau tombol panah ke bawah.
X: 4715.062 Y: 5087.98 Z: 151.0000 PT: 2 CD: BM		HI : tinggi alat
X : masukkan koordinat X kemudian tekan tombol ENT atau tombol panah ke bawah. Y : masukkan koordinat Y kemudian tekan tombol ENT atau tombol panah ke bawah. Z : masukkan elevasi titik kemudian tekan tombol ENT atau tombol panah ke bawah. Masukkan koordinat sesuai dengan data di lapangan. jika tidak diketahui koordinatnya bisa diasumsikan. CD : Kode		

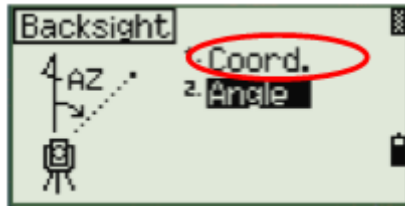
Gambar 4. 10 Memasukkan titik koordinat

5. Memasukkan *Backsight* (BS)

Setelah koordinat tempat berdiri alat dimasukkan, maka secara otomatis dari alat akan meminta untuk memasukkan informasi *backsight* (BS). Informasi ini dapat berupa :

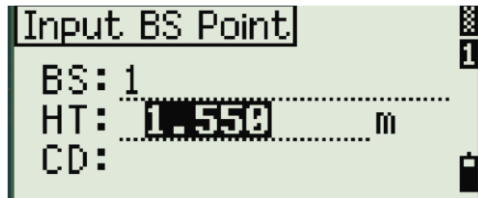
- Informasi Koordinat *backsight*

- Informasi *azimuth* dari titik koordinat berdiri alat ke titik *Backsight*



Gambar 4. 11 Backsight

- Pilih yang *Coord* untuk memasukkan titik koordinat pada titik *backsight*.



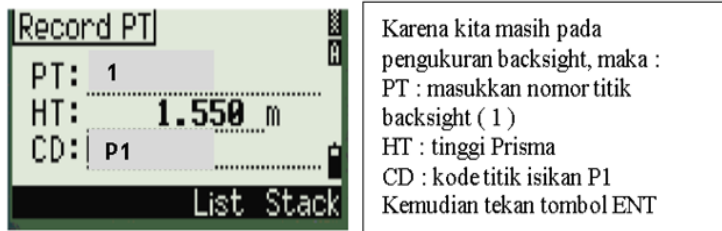
Gambar 4. 12 Input BS Point

- BS : masukkan nomor titik *backsight* (P1) kemudian tekan tombol ENT atau panah ke bawah.
- HT : masukkan tinggi target / prisma kemudian tekan tombol ENT atau panah ke bawah.
- Masukkan nilai koordinatnya P1,yaitu X=4592.6576, Y=5048.0174, Z=151.
- Kemudian tekan ENT seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 13 Tombol-tombol pada total station

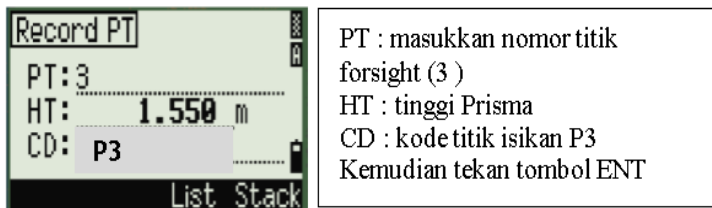
- Setelah melakukan pengukuran kemudian tekan ENT untuk perekaman data sehingga akan muncul seperti berikut :



Gambar 4. 14 Perekaman data *backsight*

6. Melakukan Pengukuran *Foresight*

Putar teropong dan arahkan ke titik P3 sebagai *foresight* bidik, kemudian lakukan pengukuran dengan cara menekan tombol MSR1, kemudian tekan tombol ENT untuk merekam data.



Gambar 4. 15 Perekaman data *foresight*

7. Untuk penembakan titik-titik lengkung sama seperti langkah 1-5 yaitu jika alat berdiri pada titik (P3) maka *Backsight* adalah (P2) dan *Foresight* adalah (P3).
Lakukan juga penembakan titik-titik pada sisi inlet sehingga titik-titik antara outlet dan inlet menyambung jadi satu

4.2 Pekerjaan *Drilling dan Blasting*

1. Diskripsi Proyek

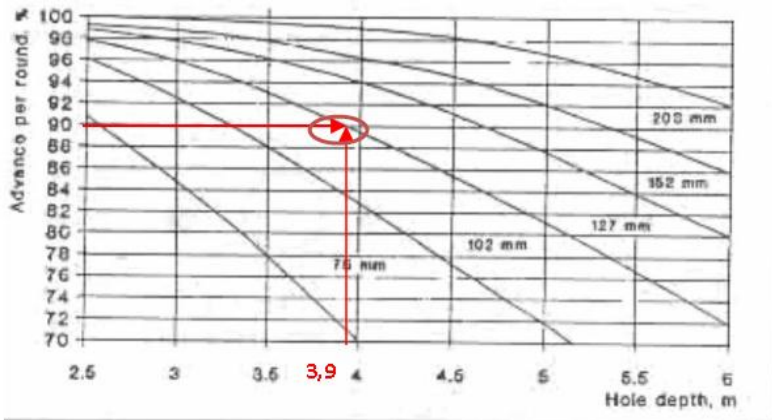
- Proyek terowongan Waduk Bendo memiliki panjang 453 m dan luas penampang pintu terowongan $\pm 45 \text{ m}^2$.
- Diameter lubang ledak 38 mm, dinding terowongan diledakan dengan cara *smoothing blasting*..
- Peralatan bor adalah *Electro Hydraulic Jumbo* dengan panjang batang bor 4,3 m dan *feed travel* 3,9 m.



Gambar 4. 16 Bor *electro hydraulic jumbo*

- Kemajuan yang diharapkan 90% dari kedalaman lubang ledak.
- *BP Emulite-150* dalam dodol 29 & 25 mm untuk *cut stoping* dan lantai.
- Gurit 17 x 500 mm dalam dodol plastik dipakai untuk kontur.
- Penembakan memakai *Nonel GT/T*.
- Untuk mendapatkan kemajuan lebih dari 90% dari kedalaman lubang tembak 3,9 m pada grafik dibawah adalah dengan cara :

- Menarik garis tegak lurus dari sumbu x yang mewakili kedalaman lubang sebesar 3,9 m sampai menyinggung garis lengkung pada grafik.
- Menarik garis tegak lurus dari sumbu y yang mewakili prosentase kemajuan *per round* sebesar 90% .
- Sehingga berpotongan pada satu titik yang bertemu pada salah satu garis lengkung yaitu 127 mm yang ada pada grafik, seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 17 Hubungan kedalaman lubang ledak dengan prosentase kemajuan *per round*

2. Perhitungan geometri terowongan

Tabel 4. 3 Rumus geometri peledakan

Part of time Round	Burden (m)	Spacing (m)	Heigh Bottom Charge (m)	Charge Concentration		Stemming (m)
				Bottom (Kg/m)	Coloumn (Kg/m)	
Floor	B	1.1B	1/3 H	ℓb	ℓb	0.2B
wall	0.9B	1.1B	1/6 H	ℓb	$0.4 \ell b$	0.5B
Roof	0.9B	1.1B	1/6 H	ℓb	$0.3 \ell b$	0.5B
Stopping						
Upwards	B	1.1B	1/3 H	ℓb	$0.5 \ell b$	0.5B
Horizontal	B	1.1B	1/3 H	ℓb	$0.5 \ell b$	0.5B
Downwords	B	1.2B	1/3 H	ℓb	$0.5 \ell b$	0.5B

a. Perhitungan Bujur Sangkar

Rumus – rumus perhitungan geometri bujur sangkar sebagai berikut :

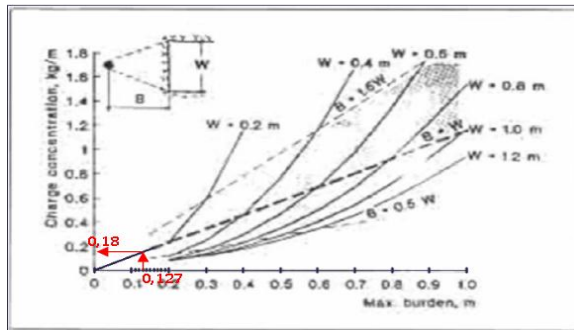
- Jarak a (C-C) $= 1,5\Phi$
- $W_1 = a\sqrt{2}$
- Muatan (Q) $= \ell(H - h_0)$

Keterangan :

- a = jarak antara lubang (m)
- W = lebar bukaan (m)
- H = kedalaman lubang bor (m)
- ℓ = konsentrasi bahan peledak (Kg/m)
- h_0 = *Stemming* (lubang jagaan) (m)
- B = *Burden*

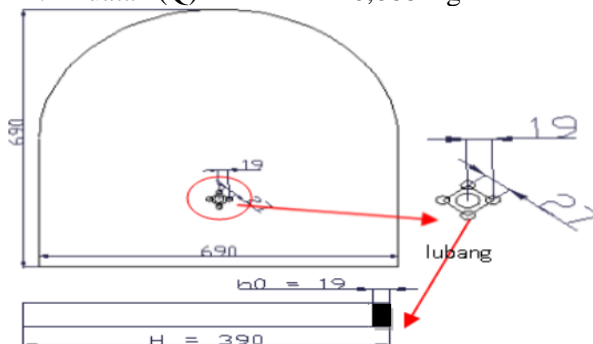
1. Bujur sangkar-1

- Jarak a (C-C) $= 1,5\Phi$
 $= 1,5 \times 127 = 190 \text{ mm.}$
- $W_1 = a\sqrt{2} = 190\sqrt{2}$
 $= 268,7 \text{ mm} = 0,27 \text{ m.}$
- *Charger Concentration* (ℓ), dapat dicari dengan menggunakan grafik dibawah dengan cara :
 - a. Menarik garis tegak lurus dengan sumbu x yang mewakili *burden* ke garis ($B = W$) sebesar diameter lubang kosong yaitu 0,127 m.
 - b. Kemudian tarik kesumbu y yang mewakili konsentrasi bahan peledak sehingga diketahui konsentrasi bahan peledak (ℓ) sebesar 0,18 Kg/m. Dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini :



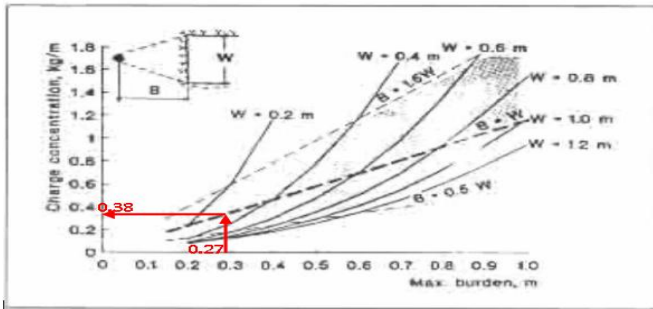
Gambar 4. 18 Hubungan charge concentration dengan jarak C-C pada bujur sangkar 1

- $Stemming = h_0 = a$ (karena belum ada burden).
- Muatan (Q) $= \ell(H - h_0)$
 $= 0,18 (3,9 - 0,19) = 0,668 \text{ Kg.}$
- Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :
 1. $Stemming(h_0)$ $= 0,19 \text{ m.}$
 2. Kedalaman lubang $= 3,9 \text{ m.}$
 3. Lebar bukaan (W_1) $= 0,27 \text{ m.}$
 4. Muatan (Q) $= 0,668 \text{ Kg}$



Gambar 4. 19 Geometri dan panjang lubang bujur sangkar 1

- Diketahui bujur sangkar 1 :
 $a = 190 \text{ mm} = 0,19 \text{ m}$.
 $W_1 = 0,27 \text{ m}$.
 $Q = 0,668 \text{ Kg}$.
- *Burden* pada bujur sangkar 2 (B_1) = W_1 , sehingga
 $B_1 = 0,27 \text{ m}$.
- C-C (a) bujur sangkar 2 = $1,5W_1$
 $= 1,5 \times 0,27 = 0,40 \text{ m}$.
- $W_2 = a\sqrt{2} = 0,40\sqrt{2} = 0,566 \text{ m}$.
- Sehingga *Charge concentration* (ℓ) dapat dicari dengan menggunakan grafik dibawah dengan cara :
 - a. Menarik garis tegak lurus, dengan sumbu x yang mewakili *burden* ke garis ($B = W$) sebesar B_1 yaitu 0,27 m.
 - b. Kemudian tarik kesumbu y yang mewakili konsentrasi bahan peledak sehingga diketahui konsentrasi bahan peledak (ℓ) sebesar 0,38 Kg/m. Dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini :



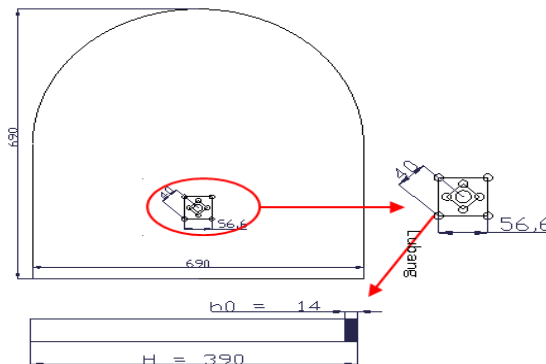
Gambar 4. 20 Hubungan antara burden dengan *charge concentration*

- Gunakan *BP Emulite* dodol 25 x 200 mm dengan
 $\ell = 0,38 \text{ Kg/m}$



Gambar 4. 21 Bahan peledak emulite
 (Sumber: http://www.pof.gov.pk/productdetail/Commercial_Explosives/EMULSION_EXPLOSIVES/Stemming)

- **Stemming**(h_0) = $0,5B_1$ (lihat pada tabel 4.2)
 $= 0,5 \times 0,27 = 0,14$ m.
- **Muatan**(Q) = $\ell(H - h_0)$
 $= 0,38 (3,9 - 0,14) = 1,43$ Kg.
- Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :
 1. **Stemming**(h_0) = 0,14 m.
 2. Kedalaman lubang = 3,9 m.
 3. Jarak antar lubang (a) = 0,40 m.
 4. Lebar bukaan (W_2) = 0,566 m.
 5. **Muatan**(Q) = 1,43 Kg.



Gambar 4. 22 Geometri dan panjang lubang bujur sangkar 2

2. Bujur Sangkar 3

- Diketahui bujur sangkar 2 :
 $a = 400$ mm = 0,4 m.

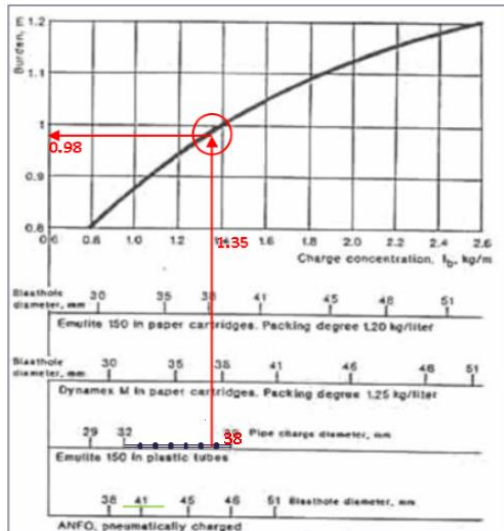
$$W_2 = 0,566.$$

$$Q = 1,43 \text{ Kg.}$$

- Burden pada bujur sangkar 3 (B_2) = W_2 , sehingga B_2 = 0,566 m.
- C-C (a) bujur sangkar 3 = $1,5 W_2$

$$= 1,5 \times 0,566 = 0,85 \text{ m.}$$
- $W_3 = a\sqrt{2}$

$$= 0,85\sqrt{2} = 1,20 \text{ m}$$
- Karena bujur sangkar 3 terletak paling luar maka harus menyesuaikan dengan lubang *stopping*, sedangkan *burden* dalam bujur sangkar 3 > *burden stopping* dalam *round*, sehingga *burden* yang dipilih adalah *burden* yang terkecil, yaitu *burden* dari lubang *stopping*, yang bisa kita dapatkan pada grafik dibawah ini dengan cara :
 - a. Karena diameter lubang bor yang kita rencanakan adalah sebesar 38 mm dan bahan ledak yang kita gunakan adalah *emulite 150* dalam plastik silinder.
 - b. Kemudian tarik garis sumbu x sampai dengan menyinggung garis lengkung pada grafik seperti pada gambar dibawah, sehingga didapatkan konsentrasi bahan peledak sebesar 1.35 Kg/m .
 - c. Kemudian tarik tegak lurus menuju sumbu y, sehingga didapatkan burden sebesar 0,98 m.



Gambar 4. 23 Hubungan diameter lubang ledak, jenis bahan ledak, dan konsentrasi bahan ledak

- Sehingga dari grafik diatas kita dapatkan *burden* atau lebar bukaan (W_3) sebesar 0,98 m dan $\ell_c = \ell_b = 1,35 \text{ Kg/m}$ (*asumsi lihat pada tabel 4.2*).
- Sehingga jarak C-C (a) = $\frac{W_3}{\sqrt{2}}$

$$= \frac{0,98}{\sqrt{2}} = 0,69 \text{ m}$$
- h_b (lubang dasar) = $\frac{1}{3} H$ (*lihat pada tabel 4.2*)

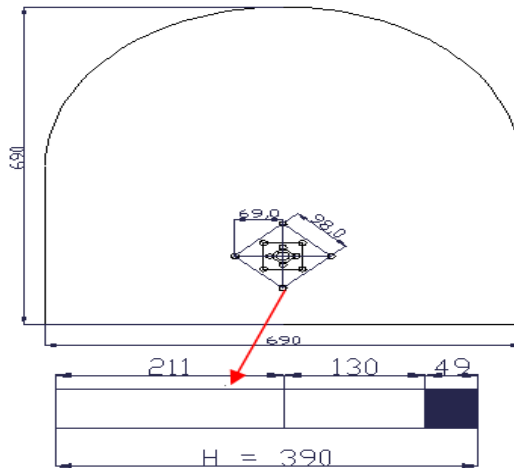
$$= 0,33 \times 3,9 = 1,3 \text{ m.}$$
- Q_b (muatan dasar) = $\ell_b \times h_b$

$$= 1,35 \times 1,3 = 1,75 \text{ Kg.}$$
- ℓ_c (konsentrasi BP kolom) = $0,5 \ell_b$

$$= 0,5 \times 1,35 = 0,68 \text{ Kg,}$$
- h_0 (*Stemming*) = $0,5 B_3$ (*lihat pada tabel 4.2*)

$$= 0,5 \times 0,98 = 0,49 \text{ m.}$$

- $h_c(\text{lubang kolom}) = H - h_b - h_0$
 $= 3,9 - 1,3 - 0,49 = 2,11 \text{ m.}$
- $Q_c(\text{muatan kolom}) = \ell_c \times h_c$
 $= 0,49 \times 2,11 = 1,03 \text{ Kg.}$
- $Q_{total} = Q_c + Q_b$
 $= 1,03 + 1,75 = 2,78 \text{ Kg.}$
- Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :
 - $Stemming(h_0) = 0,49 \text{ m.}$
 - $h_b(\text{lubang dasar}) = 1,30 \text{ m.}$
 - $h_c(\text{lubang kolom}) = 2,11 \text{ m.}$
 - $H(\text{Kedalaman lubang}) = 3,90 \text{ m.}$
 - Jarak antar lubang (a) $= 0,69 \text{ m.}$
 - Lebar bukaan (W_3) $= 0,98 \text{ m.}$



Gambar 4. 24 Geometri lubang ledak pada bujur sangkar 3

c. Perhitungan lubang lantai

1. Dari gambar grafik 4.24 hubungan bahan ledak, diameter lubang, dan *burden* didapatkan bahwa *burden* maksimal yang diizinkan adalah 0,98 m,

karena adanya *Look Out* untuk lubang pinggir maks 20 cm, sehingga lubang diatas lubang lantai diletakkan 0,78 dari lubang lantai..

2. Spasi = 1,1B (*lihat pada tabel 4.2*)

$$= 1,1 \times 0,98 = 1,08$$

3. Menghitung muatan dasar pada lubang lantai.

- $\ell_b = 1,35 \text{ Kg/m}$.

- $h_b = \frac{1}{3} H$ (*lihat pada tabel 4.2*)

$$= 0,33 \times 3,9 = 1,30 \text{ m}.$$

- Muatan dasar (Q_b) = $\ell_b \times h_b$

$$= 1,35 \times 1,3 = 1,75 \text{ Kg}.$$

4. Menghitung muatan kolom

- $\ell_c = \ell_b = 1,35 \text{ Kg/m}$ (*lihat pada tabel 4.2*).

- h_0 (*stemming*) = 0,2B (*lihat pada tabel 4.2*)

$$= 0,2 \times 0,98 = 0,196 \text{ m}.$$

- $h_c = H - h_b - h_0$

$$= 3,9 - 1,3 - 0,196 = 2,404 \text{ m}.$$

- Muatan kolom (Q_c) = $\ell_c \times h_c$

$$= 1,35 \times 2,404 = 3,245 \text{ Kg}$$

- $Q_{\text{total}} = Q_b + Q_c$

$$= 1,75 + 3,245 = 5 \text{ Kg}.$$

5. Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :

- *Stemming*(h_0) = 0,196 m.

- h_b (lubang dasar) = 1,30 m.

- h_c (lubang kolom) = 2,404 m.

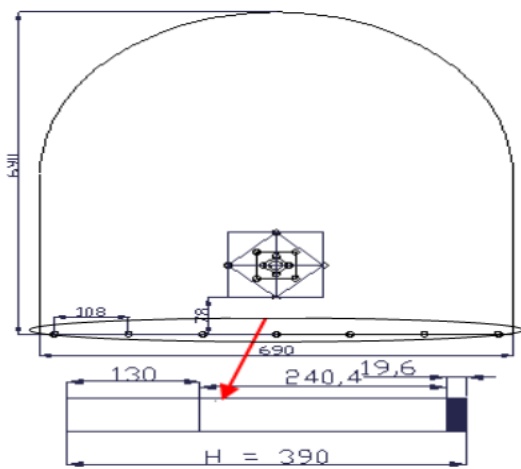
- Kedalaman lubang = 3,90 m.

- Muatan total = 5 Kg

- Spasi = 1,08 m.

- *Burden* = 0,98 m.

- Lubang diatas lubang lantai = 0,78 m.



Gambar 4. 25 Geometri lubang ledak pada lubang lantai
d. Perhitungan lubang dinding

Perhitungan lubang dinding menggunakan metode *smooth blasting*, dapat kita lihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 4 Ketentuan geometri untuk *smooth blasting*

Parameter Diameter Lubang (mm)	Konsentrasi muatan (Kg/m)	Tipe muatan	Burden (m)	Spasi (m)
25 - 32	0.11	11 mm Gurit	0.3 - 0.5	0.25 - 0.35
25 - 48	0.23	12 mm Gurit	0.7 - 0.9	0.50 - 0.70
51 - 64	0.42	13 mm Gurit	1.0 - 1.1	0.80 - 0.90
51 - 64	0.45	14 mm Gurit	1.1 - 1.2	0.80 - 0.90

1. Konsentrasi muatan (ℓ_b) = 0,23 Kg/m.
2. Burden pada lubang dinding kita pilih 0,8 m.
3. Spasi (S) pada lubang dinding kita pilih 0,6 m.
4. Menghitung muatan dasar pada lubang dinding.
 - $\ell_b = 0,23 \text{ Kg/m}$.
 - $h_b = \frac{1}{6} H$ (lihat pada tabel 4.2)

$$= 0,167 \times 3,9 = 0,65 \text{ m.}$$

- Muatan dasar (Q_b) $= \ell_b \times h_b$
 $= 0,23 \times 0,65 = 0,149 \text{ Kg.}$

5. Menghitung muatan kolom

- $\ell_c = 0,4\ell_b$ (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 0,4 \times 0,23 = 0,092 \text{ Kg/m}$

- h_0 (*stemming*) $= 0,5B$ (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 0,5 \times 0,8 = 0,4 \text{ m.}$

- $h_c = H - h_b - h_0$
 $= 3,9 - 0,65 - 0,4 = 2,85 \text{ m.}$

- Muatan kolom (Q_c) $= \ell_c \times h_c$
 $= 0,092 \times 2,85 = 0,262 \text{ Kg}$

- $Q_{total} = Q_b + Q_c$
 $= 0,149 + 0,262 = 0,411 \text{ Kg.}$

6. Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :

- *Stemming*(h_0) $= 0,40 \text{ m.}$

- h_b (lubang dasar) $= 0,65 \text{ m.}$

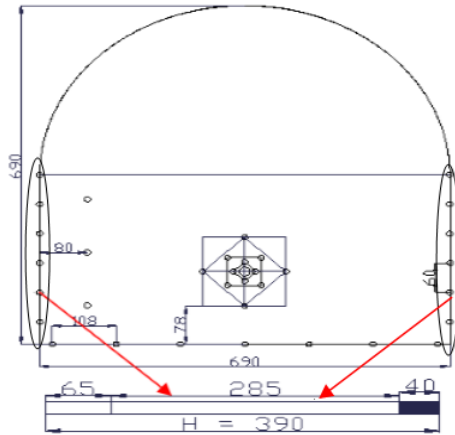
- h_c (lubang kolom) $= 2,85 \text{ m.}$

- Kedalaman lubang $= 3,90 \text{ m.}$

- Spasi $= 0,60 \text{ m.}$

- *Burden* $= 0,80 \text{ m.}$

- Muatan bahan ledak(Q) $= 0,411 \text{ Kg.}$

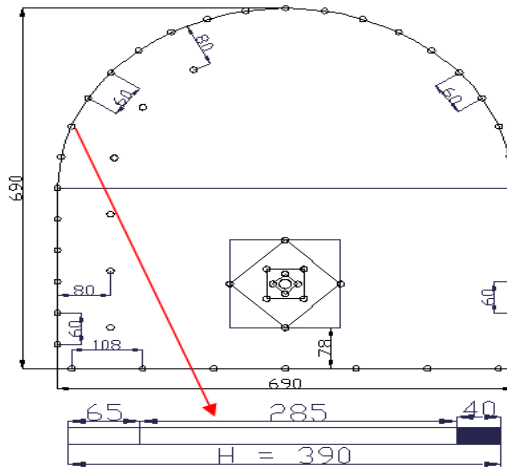


Gambar 4. 26 Geometri lubang ledak pada lubang dinding

e. Perhitungan lubang Atap

Perhitungan lubang atap ini sama dengan perhitungan lubang dinding yaitu didapatkan bahwa :

- *Stemming*(h_0) = 0,40 m.
- h_b (lubang dasar) = 0,65 m.
- h_c (lubang kolom) = 2,85 m.
- Kedalaman lubang = 3,90 m.
- Spasi = 0,60 m.
- *Burden* = 0,80 m.
- Muatan bahan ledak(Q) = 0,411 Kg.

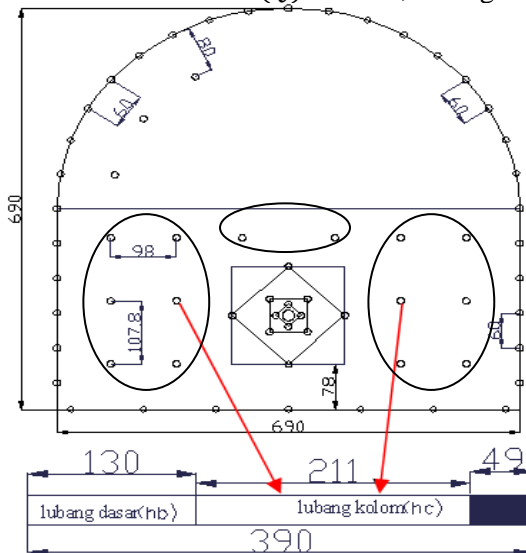


Gambar 4. 27 Geometri lubang ledak pada lubang atap

f. Perhitungan lubang *stopping* keatas dan horisontal

1. Dari grafik hubungan bahan ledak dengan *burden* didapatkan bahwa *burden* maksimal yang di izinkan adalah 0,98 m.
2. Spasi = 1,1B (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 1,1 \times 0,98 = 1,078 \text{ m.}$
3. Menghitung muatan dasar pada lubang lantai.
 - $\ell_b = 1,35 \text{ Kg/m.}$
 - $h_b = \frac{1}{3} H$ (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 0,33 \times 3,9 = 1,30 \text{ m.}$
 - Muatan dasar (Q_b) = $\ell_b \times h_b$
 $= 1,35 \times 1,3 = 1,75 \text{ Kg.}$
4. Menghitung muatan kolom
 - $\ell_c = 0,5\ell_b$ (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 0,5 \times 1,35 = 0,675 \text{ Kg/m.}$
 - h_0 (*stemming*) = 0,5B (*lihat pada tabel 4.2*)
 $= 0,5 \times 0,98 = 0,49 \text{ m.}$

- $h_c = H - h_b - h_0$
 $= 3,9 - 1,3 - 0,49 = 2,11 \text{ m.}$
 - Muatan kolom (Q_c) = $\ell_c \times h_c$
 $= 0,675 \times 2,11 = 1,424 \text{ Kg}$
 - $Q_{total} = Q_b + Q_c$
 $= 1,75 + 1,424 = 3,174 \text{ Kg.}$
5. Sehingga kita dapat menggambarkan geometrinya dari data - data yang telah kita dapatkan yaitu :
- $Stemming(h_0)$ = 0,49 m.
 - h_b (lubang dasar) = 1,30 m.
 - h_c (lubang kolom) = 2,11 m.
 - Kedalaman lubang = 3,90 m.
 - Spasi = 1,078 m.
 - $Burden$ = 0,98 m.
 - Muatan bahan ledak(Q) = 3,174 Kg.

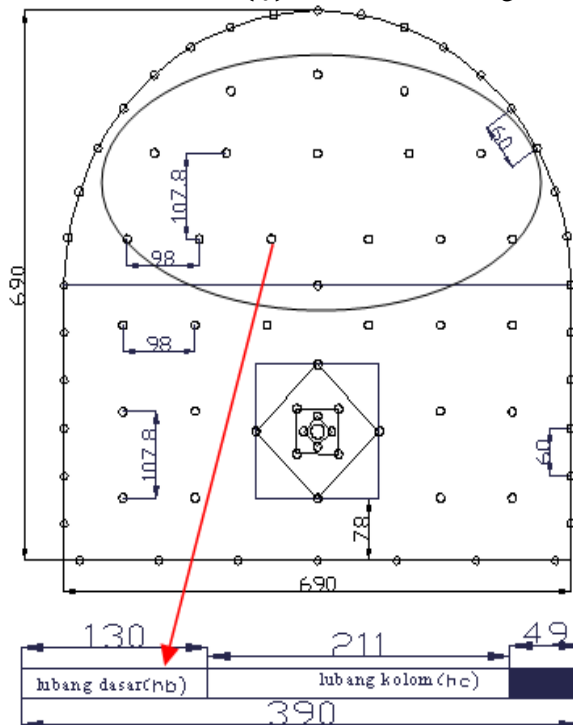


Gambar 4. 28 Geometri lubang ledak pada lubang *stopping* keatas dan horisontal

g. Perhitungan lubang *stopping* kebawah

Perhitungan lubang *stopping* kebawah ini sama dengan perhitungan lubang *stopping* keatas dan horizontal yaitu didapatkan bahwa :

- *Stemming*(h_0) = 0,49 m.
- h_b (lubang dasar) = 1,30 m.
- h_c (lubang kolom) = 2,11 m.
- Kedalaman lubang = 3,90 m.
- Spasi = 1,078 m.
- *Burden* = 0,98 m.
- Muatan bahan ledak(Q) = 3,174 Kg.



Gambar 4. 29 Geometri lubang ledak pada lubang *stopping* kebawah

h. Perhitungan muatan bahan ledak total

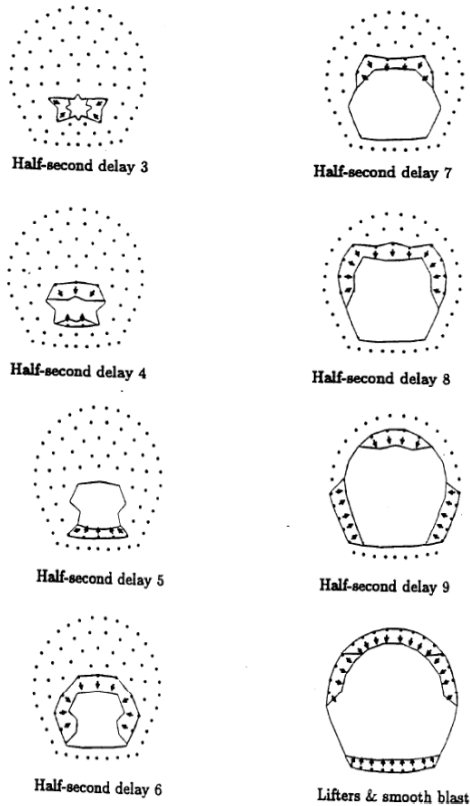
Sebelum menghitung jumlah muatan bahan peledak, harus diketahui terlebih dahulu jumlah lubang yang dibutuhkan dengan cara menggambar pola pengeboran pada penampang terowongan.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan muatan bahan peledak

Bagian dari Round	Jumlah Lubang	Jenis Bahan Peledak	Muatan per Lubang (Kg)	Total (Kg)
CUT				
Segiempat 1	4	Emulite 150 : 25 mm	0.668	2.672
Segiempat 2	4	Emulite 150 : 25 mm	1.43	5.72
Segiempat 3	4	Emulite 150 : 29 mm	2.78	11.12
Lubang Lantai	7	Emulite 150 : 29 mm	5	35
Lubang Dinding	12	Gurit 17 mm	0.411	4.932
Lubang Atap	17	Gurit 17 mm	0.411	6.987
STOPPING				
Ke atas dan horisontal	14	Emulite 150 : 29 mm	3.174	44.436
Ke bawah	15	Emulite 150 : 29 mm	3.174	47.61
Total				158.477

1. Kemajuan per round yang di harapkan adalah 90% =
 $90\% \times 3.9 \text{ m} = 3,51 \text{ m}.$
2. Jumlah round $= \frac{\text{Panjang terowongan}}{\text{Kemajuan yang diharakan}}$
 $= 453\text{m} / 3,51\text{m} = 117.$
3. *Emulite* 150 : 25 mm $= 8,392 \text{ Kg} \times 117$
 $= 981,864 \text{ Kg}.$
4. *Emulite* 150 : 29 mm $= 138,66 \text{ Kg} \times 117$
 $= 16165,422\text{Kg}.$
5. *Gurit* 17 mm $= 11,919 \text{ Kg} \times 117$
 $= 1394,523 \text{ Kg}.$
6. *Nonel GT/T* $= 81 \text{ buah} \times 117$
 $= 9477 \text{ buah}$

- i. Penggunaan pola *half-second delay* pada peledakan utama dan *smoothing blasting* di perimeter tunnel.



Gambar 4. 30 Pola peledakan terowongan *half second delay*

4.3 Scalling dan Mucking

Setelah peledakan selesai dilakukan maka selanjutnya dilakukan pekerjaan *Scalling* dan *Mucking*. *Scalling* adalah kegiatan yang bertujuan untuk membersihkan *face tunnel* dari bebatuan yang berpotensi jatuh akibat proses *blasting* dan membentuk penampang *face tunnel* sesuai dengan gambar desain.

Scalling dilakukan dengan menggunakan tongkat kayu sepanjang 2 – 3 meter dan senter dengan cara menggerakkan atau menjatuhkan bebatuan yang berpotensi jatuh.



Gambar 4. 31 Pekerjaan *Scalling*

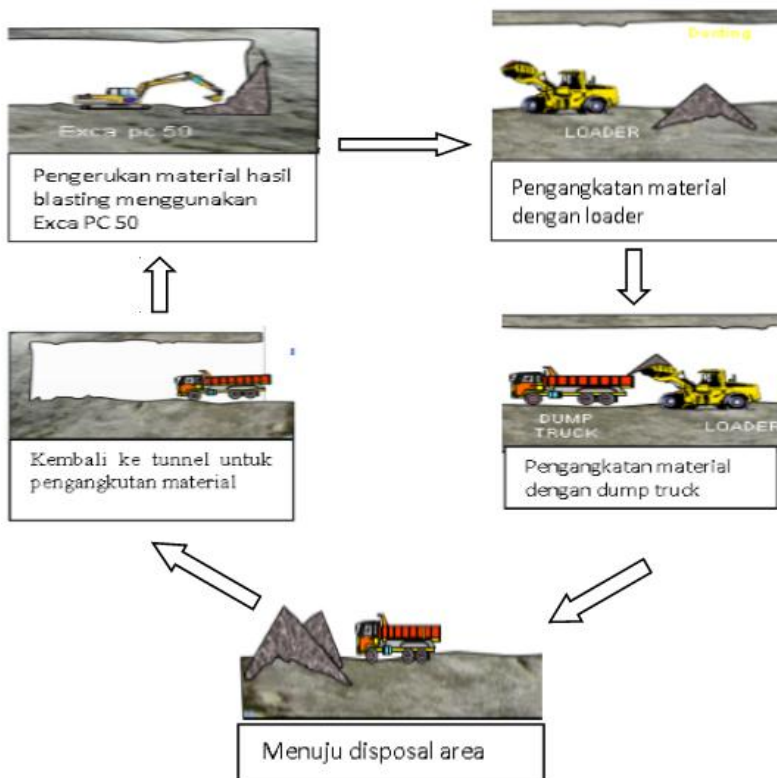
Setelah dilakukan pekerjaan *Scalling* akan dilakukan pekerjaan *Mapping*. *Mapping* adalah kegiatan pemetaan tipe batuan oleh pelaksana dan geologis. Hasil pemetaan akan menentukan sistem penyangga sementara sebelum *Lining Concrete* yang akan dipasang setelah pekerjaan *Blasting* selesai. Apabila batuan baik, yaitu tidak mudah runtuh maka sistem penyangga sementara hanya berupa *Shotcrete* dan *Rockbolt*. Apabila batuan mudah runtuh sehingga membahayakan pekerja maka dipasang juga *Steel Support*.



Gambar 4. 32 Pekerjaan *Mapping* di Inlet

Mucking adalah pembersihan gundukan hasil peledakan. *Hauling* adalah pengangkutan material ke *Dump Truck*. *Mucking* dan *Hauling* menggunakan alat berat yaitu *Backhoe*, *Wheel Loader*, dan *Dump Truck*, namun penggunaan alat berat disesuaikan dengan kondisi lapangan dan efisiensi penggunaan alat berat.

Adapun siklus pekerjaannya dapat dilihat pada bagan sebagai berikut :

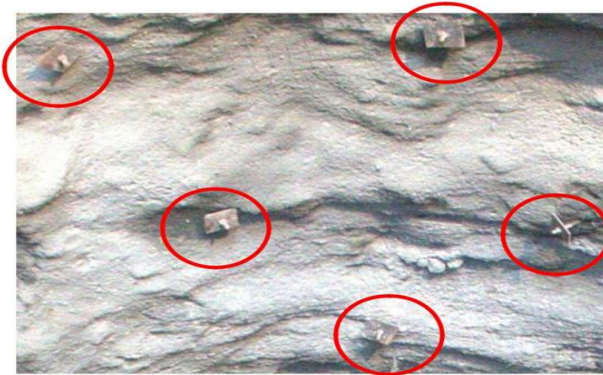


Gambar 4. 33 Gambar proses *scaling & mucking*

4.4 Pemasangan *Rockbolt* dan *Wiremesh*

a. *Rockbolt*

Sebelum memasang *Rockbolt* diameter 25 mm pada dinding terowongan, terlebih dahulu kita akan melakukan pengeboran sedalam 3 m tegak lurus dengan dinding terowongan, 1 baja ulir mewakili 4 m² luas dinding terowongan. Kemudian memasukkan baja ulir kedalamnya.



Gambar 4. 34 *Rockbolt* terpasang
(Sumber: Dokumentasi Lapangan)

b. *Wiremesh*

Setelah selesai Pemasangan *Rockbolt* kemudian baru dipasang jala kawat dengan ukuran 10x10 cm.



Gambar 4. 35 Pemasangan *wiremesh*

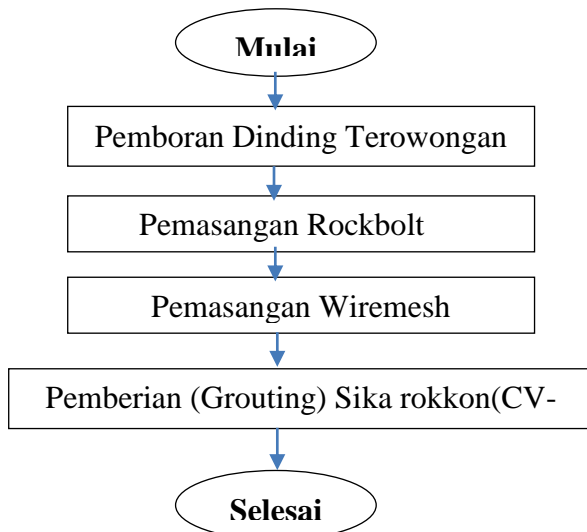
c. *Sika Rokkon*

Kemudian baru memasukkan *grouting* berupa *Sika rokkon* kedalam lubang yang telah dibor dengan menggunakan *Stick pipa* (PVC), untuk 3m pengeboran membutuhkan 5 cartridge/Box *Sika Rokkon*. Tetapi sebelum dimasukkan, *Sika Rokkon* harus direndam selama 1 menit didalam air terlebih dahulu. Fungsi dari *Sika rokkon* ini adalah untuk merekatkan antara batuan dengan baja ulir.



Gambar 4. 36 *Sika rokkon*
(Sumber: Sikavietnam.vn)

d. Bagan Alir Pemasangan



Bagan 4. 2 Alir pemasangan *Rockbolt*

4.5 Pemasangan *Steel Support*

1. Metode *Pelaksanaan steel support*

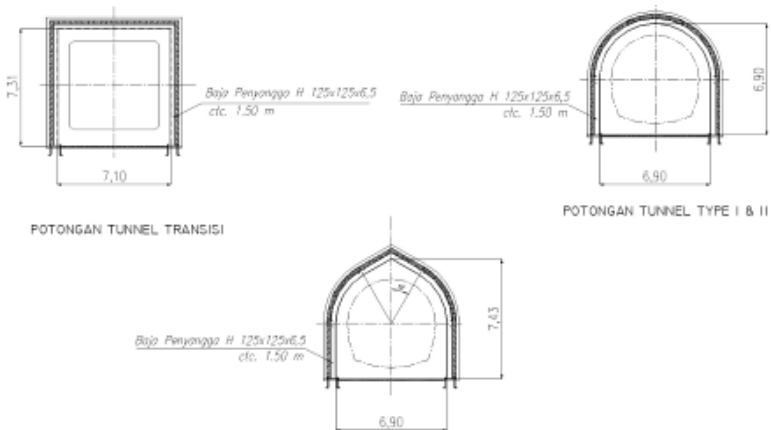
Steel Support adalah besi penyangga terowongan yang terbuat dari baja profil H atau bisa juga dari profil I. Namun lebih banyak digunakan profil H karena lebih kokoh, terutama terhadap dorongan/tekanan dari samping dan dorongan akibat lemparan material hasil peledakan. *Steel Support* berfungsi untuk menopang batuan yang ada pada sisi atas dan dinding terowongan. Pemasangan *Steel Support* tidak terlalu direkomendasikan pada kelas bantuan di Terowongan Pengelak Waduk Bendo karena sudah termasuk batuan bagus dengan nilai RMR 71. Walaupun terdapat acuan yang kuat, hal tersebut tetap dilakukan karena sesuai dengan gambar direksi yang ada serta menjaga keselamatan pekerja. Namun pemasangan *steel support* tidak menjadi skala prioritas dalam pekerjaan terowongan. Pelaksanamengutamakan pekerjaan penggalian untuk mengejar ketertinggalan waktu pekerjaan terowongan.

Rock mass class	Excavation	Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
I – Very good rock RMR: 81-100	Full face, 3 m advance	Generally no support required except spot bolting		
II – Good rock RMR: 61-80	Full face , 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh	50 mm in crown where required	None
III – Fair rock RMR: 41-60	Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5-2 m in crown and walls with wire mesh in crown	50-100 mm in crown and 30 mm in sides	None
IV – Poor rock RMR: 21-40	Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face	Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh	100-150 mm in crown and 100 mm in sides	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required
V – Very poor rock RMR: < 20	Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting	Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert	150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close in- vert

**Gambar 4. 37 Rekomendasi Penggalian dan Sistem
Penyangga Terowongan pada Klasifikasi RMR (Bieniawski,1989)**

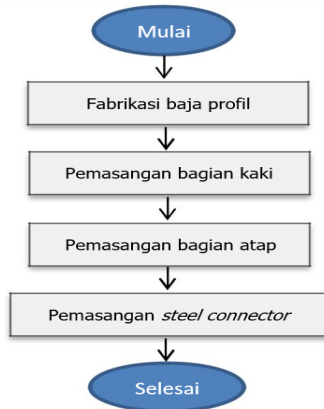
Pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo digunakan H-beam 125 x 125 x 6,5 dengan 3 desain *steel support*.

Untuk Tipe I, II, III, dan transisi. Desain tersebut ditempatkan pada bagian yang berbeda dengan fungsi yang berbeda.



Gambar 4. 38 Desain *Steel Ssupport* Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo

Secara umum tahapan Pekerjaan *Steel Support* terdiri dari fabrikasi baja profil, pemasangan bagian kaki, pemasangan bagian atap, dan pemasangan *Steel Connector*. Urutan Pekerjaan *Steel Support* dijelaskan pada bagan di bawah ini.



Bagan 4. 3 Pemasangan *Steel Ssupport*

Fabrikasi baja profil adalah pekerjaan pembuatan baja profil sesuai dengan gambar desain di luar tempat pekerjaan terowongan. Semua baja profil yang difabrikasi menjadi bentuk *steel suport* yang diinginkan tidak boleh menimbulkan distorsi-distorsi atau kerusakan-kerusakan lainnya dengan memperhatikan persyaratan sambungan-sambungan. Pemotongan baja profil dengan cara menandai profil sesuai dengan ukuran yang diinginkan, kemudian dipotong menggunakan *oxy flame cutting*. *Oxy flame cutting* adalah alat pemotong di mana pemotongan terjadi karena adanya reaksi antara oksigen dan baja. Pemotongan elemen-elemen harus dilakukan dengan rapih dengan alat pemotong. Pemotongan dengan las sama sekali tidak diperbolehkan.



Gambar 4. 39 Pembengkokan baja profil

Selain memotong dan membentuk sesuai dengan gambar desain, fabrikasi juga berfungsi untuk melubangi lubang-lubang yang akan digunakan sebagai sambungan atau pengencang *steel support*. Pelubangan *steel support* harus sesuai dengan diameter baut yang digunakan agar sambungan kuat.



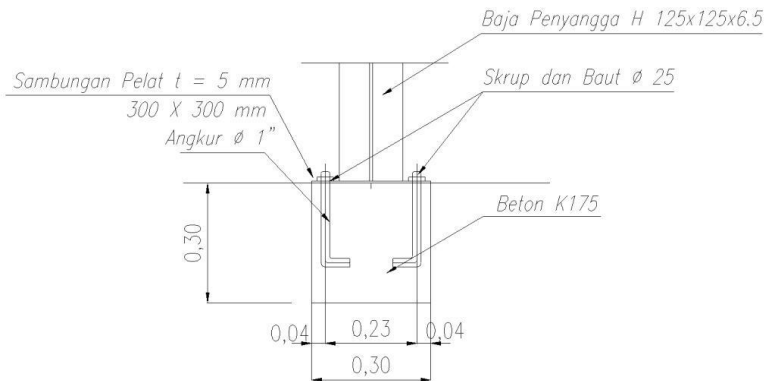
Gambar 4. 40 Pelubangan baja profil

Setelah fabrikasi selesai maka baja profil dibawa ke sekitar pekerjaan terowongan. Pemasangan bagian *steel support* yang pertama adalah bagian kaki atau bagian paling dasar.



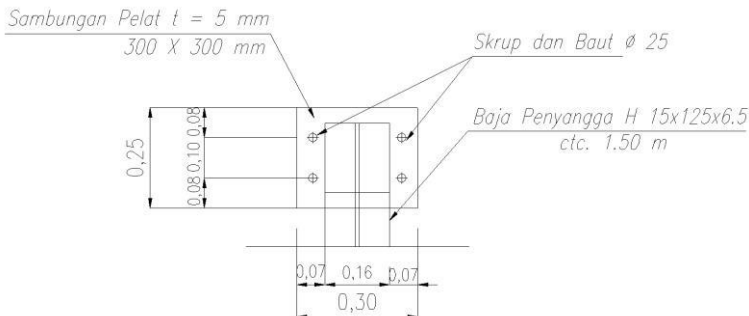
Gambar 4. 41 Pemasangan *Steel Support* bagian kaki

Pemasangan *Steel Support* bagian kaki diperkuat dengan pondasi berupa beton K175 dan pemasangan *Anchor* dengan diameter 1 inchi. Sebelum dipasang, dilakukan pembersihan terhadap area pekerjaan. Hal tersebut bertujuan agar lumpur yang ada tidak mengurangi kekuatan konstruksi.



Gambar 4. 42 Desain detail pondasi *Steel Support*

Pemasangan bagian atas atau bagian atas disambungkan dengan bagian kaki. Sambungan merupakan sambungan pelat setebal 5 mm dengan skrup dan baut.



Gambar 4. 43 Desain sambungan *Steel Support*

Pemasangan bagian atap merupakan pemasangan yang cukup sulit karena dilakukan dengan konvensional, yaitu pekerja dibantu dengan *Backhoe*. Pemasangan bagian atap pada tipe transisi lebih mudah dibandingkan dengan tipe I, II, dan III. Pemasangan ini merupakan pekerjaan yang berbahaya karena berada pada ketinggian di atas 5 meter tanpa alat pengaman. Pekerja hanya mengandalkan baja yang tergantung di atas sebagai pegangan tanpa alat pengaman. Hal tersebut sangat membahayakan keselamatan pekerja.



Gambar 4. 44 Pemasangan *Steel Support* bagian atap

Pemasangan *steel connector* berfungsi untuk menyambungkan antara *steelsupport* yang satu dengan yang lainnya. *Steel Connector* terbuat dari baja polos dengan diameter 19 mm dan panjang yang disesuaikan dengan jarak antar *Steel Support*. Pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo jarak antar *Steel Support* adalah 1,5 meter. Pemasangan *Steel Connector* juga berfungsi sebagai penahan maka kedudukan *Steel Support* agar *Steel Support* tetap kuat dan tidak goyah.



Gambar 4. 45 Pemasangan Steel Support

4.6 Pekerjaan Shotcrete (*firstlayer and second layer*)

1. Shotcrete First Layer

. Pekerjaan *Shootcrete First Layer* adalah *Shotcrete* yang dilakukan sebelum pemasangan *Wiremesh*, *Rockbolt*, dan *Steel Support Frame*. Fungsinya adalah agar batuan pada dinding terowongan tidak runtuh saat dibor untuk pemasangan *Rockbolt* nantinya, tebalnya ± 3 cm.

2. Shootcrete Second Layer

Shotcrete yang dilakukan setelah pemasangan *Rockbolt*, *Wiremesh*, dan *Steel Support Frame*, tebalnya ± 5 cm.

a. Alat dan Bahan

1. Mesin *Shotcrete*
2. *Portland Cement*
3. Air
4. *Admixture (Flay Ash)*

b. Metode Pekerjaan Shootcrete

1. Pencampuran Pasta

Dalam Pembuatan pasta ada 2 hal yang harus dipertimbangkan yaitu :

- a. *Shotability* yaitu kemampuan adukan untuk menempel pada permukaan hingga ketebalan tertentu, dan tidak mengelupas.

- b. *Pumpability* adalah kemampuan adukan untuk mengalir seperti cairan, sehingga mudah dipompa. Sehingga kadar semen harus disesuaikan dengan 2 hal tersebut. Maka kadar semen yang digunakan yaitu antara 350-450 Kg/m³.

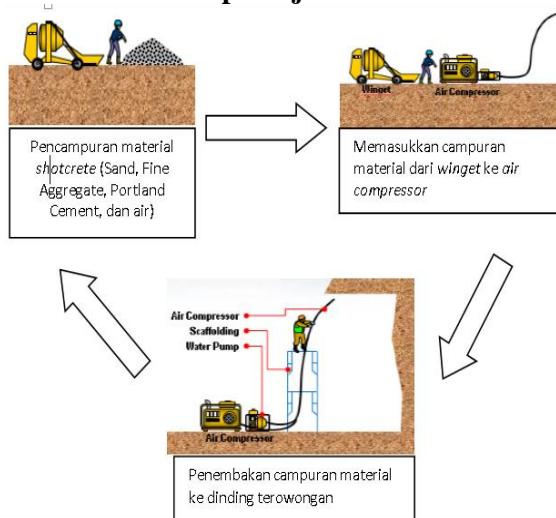
2. *Shotcrete*

Untuk menghasilkan shotcrete yang sempurna jarak antara *Face Tunnel* dan *Nozzle* adalah 1–1,5 m.

3. *Curing*

Setelah pekerjaan *Shotcrete* selesai, maka dilakukan pekerjaan *Curing* untuk menjaga kelembapan *Concrete* dalam proses pengerasan yang lebih sempurna, sehingga tidak terjadi retak-retak pada permukaan *concrete*. Perawatan dimulai 1 jam setelah *Shotcrete* ditempatkan, namun bila suhu udara lebih dari 27° celcius maka perawatan harus segera dimulai setelah selesainya *Shotcrete*.

c. Gambar runtutan pekerjaan *Shotcrete*



Bagan 4. 4 Proses *Shotcrete*

4.7 Pekerjaan Lantai Kerja

Material, bahan, dan alat yang di gunakan adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan

No	Material	Asal
1	Pasir	Slogohimo, Wonogiri
2	Split	Slogohimo, wonogiri
3	Water	lokal
4	Portland Cement	Gersik

2. Bahan

Bahan	Keterangan
Beton	K-125

3. Alat

No	Jenis Alat	Kuantitas	Remarks
1	Truck Mixer	8	5 m3
2	Excavator	1	Komatsu Pc 200
3	Compressor 750	1	Air supply
4	Tangki Air (Drum)	5	Water Storage
5	Axial Fan 600 mm	2	Ventilation
6	Water Jet	3	Pekerjaan Cleaning

4. Metode Pekerjaan Lantai Kerja

1 Volume yang di butuhkan dalam pengecoran:

- Tebal *concrete* : 10 cm
- Kemiringan : 0,094
- Panjang terowongan : 453 m
- Lebar Terowongan : ± 7 m

$$\text{Volume} = 0,1 \text{ m} \times 453 \text{ m} \times 7 \text{ m} = \pm 320 \text{ m}^3$$

2 Langkah Pekerjaan Lantai Kerja

a. Pembersihan

Sebelum pengecoran lantai kerja, lokasi dimana akan di lakukan pengecoran harus dipastikan bersih dari lumpur. Pembersihan dilakukan dengan cara memisahkan lumpur dengan air, air di sedot dengan menggunakan pompa air, setelah air kering sisa lumpur di loading dan dibuang keluar terowongan. Dinding terowongan dibersihkan dari debu-debu yang menempel dengan menyemprotkan air menggunakan water jet.

b. Survey

Survei adalah suatu aktivitas yang dilakukan untuk mendapatkan suatu kepastian informasi, bisa dikatakan sebagai suatu penyelidikan atau peninjauan. Survei pada pekerjaan lantai kerja berupa penandaan ketinggian lantai kerja 10 cm dengan kemiringan 0,094 menggunakan benang nilon putih.



Gambar 4. 46 Survei pekerjaan lantai kerja

c. Pengecoran

Setelah pengukuran selesai, Pengecoran lantai kerja berupa beton *Ready Mix* K-125. Pengecoran dilakukan dengan cara truk *Mixer* masuk mundur

ke dalam terowongan lalu menuangkan dengan menggunakan talang ke area pengecoran. pengecoran dilakukan dilokasi yang sudah disiapkan, *Truk Mixer* masuk mundur kedalam terowongan lalu menuangkan dengan menggunakan talang ke area pengecoran, material beton diratakan dengan tenaga manual.



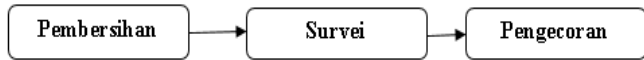
Gambar 4. 47 Pembetonan

Selama penuangan beton berlangsung, pekerja meratakan beton dengan manual. Perataan bertujuan agar beton menyelimuti seluruh area pekerjaan serta agar tidak terjadi perbedaan ketebalan beton. Perataan dilakukan terus-menerus sampai beton selesai dituang dan permukaan halus.



Gambar 4. 48 Perataan permukaan lantai kerja

Bagan pekerjaan lantai kerja dapat dilihat sebagai berikut :



4.8 Pekerjaan Pembetonan bagian *Lower*

1. Penulangan / Pembesian

Proses penulangan di lakukan setelah pembuatan lantai kerja dan bantalan tulangan, adapun fungsi dari bantalan silinder ini adalah untuk meratakan permukaan lantai kerja agar pemasangan tulangan di bagian *Lower* terowongan ini dapat terpasang datar ,sehingga akan memudahkan untuk mengatur jarak antar tulangan serta tebal tulangan yang di inginkan. Pada pembangunan Waduk Bendo ini, terdiri dari 37 segmen pada bagian *Outlet* dan 37 segmen pada bagian *Inlet*, serta 1 *Plunging* untuk menghubungkan antara terowongan dengan saluran intake. Dan di bagi menjadi 5 macam bentuk/ Tipe terowongan yaitu Tipe I, Tipe II, Tipe III. Adapun rincian dari penulangan secara umum per segmen adalah :

- a. Panjang persegmen adalah ± 6 m.
- b. Jarak antar sengkang adalah 30 cm (*tapi kenyataan di lapangan berubah-ubah*).
- c. Menggunakan baja ulir dengan diameter 13 mm dengan berat 1,04 Kg/m dan 16 mm dengan berat 1,58 Kg/m.
- d. Jumlah tulangan per segmen adalah sebagai berikut :
 1. Pada posisi melintang berjumlah 21 tulangan tekan dan tarik menggunakan baja ulir diameter 13 mm.
 2. Pada posisi memanjang menggunakan baja ulir diameter 16 mm, sebanyak 21 tulangan tekan dan tarik.
 3. Jumlah tulangan penyangga sebanyak 20 buah persegmen dengan tinggi yang berbeda-beda, menggunakan tulangan diameter 16 mm.



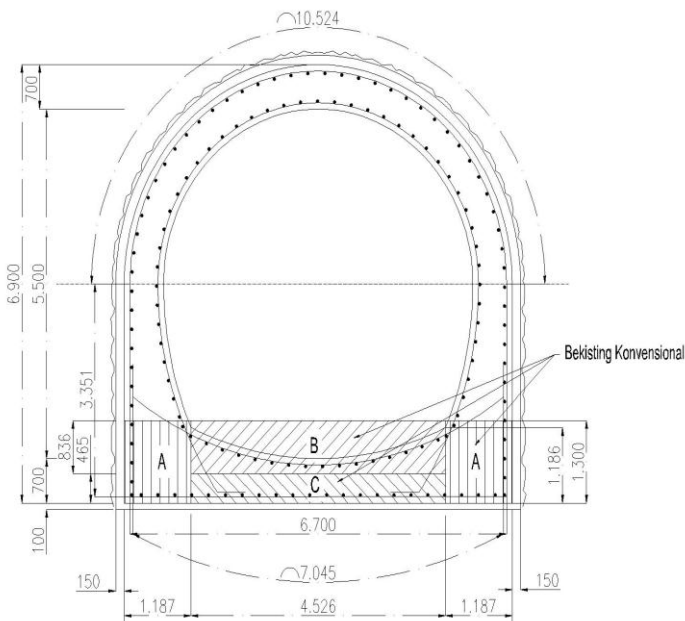
Gambar 4. 49 Penulangan bagian *Lower*

- e. Silinder penyangga sebanyak 24 buah persegmen dengan diameter dan tinggi ± 10 cm.

2. Pekerjaan Bekisting

Pelaksanaan pekerjaan bekisting sangat mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan pengecoran beton. Sebuah bekisting harus cukup kuat dan kaku untuk menahan beban-beban yang ditimbulkan selama pekerjaan pengecoran, seperti tenaga kerja dan alat yang digunakan. Dalam pekerjaan bekisting tidak hanya bahan dan dimensi yang diperhitungkan, namun perhitungan model dan beban yang bekerja harus direncanakan

sejak awal. Permukaan bekisting yang berhubungan dengan beton harus bersih, kaku, dan cukup kedap untuk menahan kehilangan kadar air dan mortar. Sebelum dilakukan pemasangan di lokasi pekerjaan material bekisting terlebih dahulu difabrikasi sesuai dengan ukuran dan bagian yang direncanakan. Bekisting yang dibutuhkan dalam Pekerjaan Beton bagian *lower* Terowongan Pengelak Waduk Bendo. Kayu balok dipotong dengan ukuran 0,94 meter, 4,526 meter, dan 1,187 meter. Kemudian triplek dipotong dengan ukuran 0,94 m x 4,526 m, 0,46 m x 4,526 m dan 1,3 m x 1,187 m.



Gambar 4. 50 Desain bekisting bagian *Lower*

Sebelum pengecoran beton, semua bekisting harus kaku, kokoh, dan bersih dari semua sisa potongan kayu-kayu kecil, debu bekas gergaji. Pembersihan tersebut dapat menggunakan air yang disemprotkan ke permukaan bekisting dengan tekanan sedang. bekisting ditempatkan pada titik yang telah ditentukan,

yaitu pada sisi kanan dan sisi kiri setiap segmen. Pemasangan bekisting harus kokoh dan rapat agar adukan beton tidak keluar dari acuanannya dengan bantuan menggunakan penopang (*struts*), penguat (*stays*), dan pengikat (*braces*). Kemudian permukaan bekisting harus diminyaki dengan minyak mineral yang disuling agar permukaan beton yang dihasilkan rata. Pemasangan bekisting dilakukan oleh 2-4 orang.



Gambar 4. 51 Pengangkatan bekisting

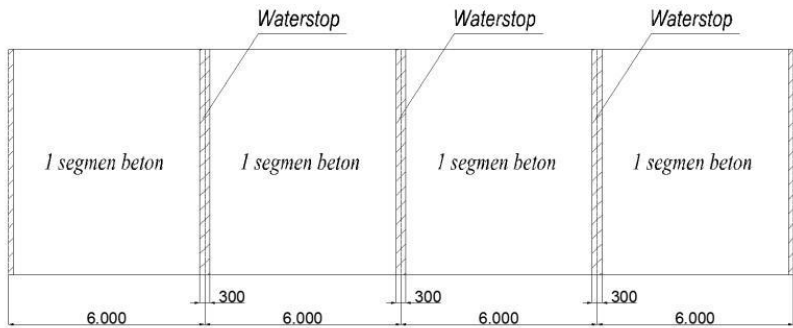
Bekisting tidak boleh diangkat apabila beton belum mengeras dan cukup kuat untuk menanggung beban dengan aman, yaitu beban konstruksi yang akan didukungnya. Pengangkatan bekisting harus dilakukan dengan hati-hati agar proses *finishing* pada beton dapat dilakukan dengan baik. Pengangkatan tidak boleh menyebabkan runtuhnya atau gagalnya beton.

Tabel 4.4. Waktu Minimum Pelepasan Bekisting yang Direkomendasikan pada Spesifikasi Teknis

Posisi Bekisting	Waktu min. untuk mengeras di atas 10° C
Permukaan vertikal atau hampir vertikal untuk mass concrete atau lapisan kanal	36 jam
Permukaan vertikal atau hampir vertikal untuk dinding geser, balok atau kolom	48 jam
Bekisting di sisi bawah balok dan pelat (tak terbebani dan penyangga dibiarkan ada)	7 hari
Penyangga balok dan pelat, selama mungkin dibiarkan tetapi tidak kurang dari 14 hari	14 hari

Pada saat pemasangan bekisting, diikuti dengan pemasangan *waterstop*. *Waterstop* adalah material pengisi celah pada rongga sambungan beton. Pemasangan *waterstop* dilaksanakan pada setiap *joint*, baik *construction*, *contraction*, ataupun *Expansion Joint*. *Construction Joint* adalah sambungan yang dibuat untuk menghubungkan segmen-segmen dalam proses pengecoran beton dengan area yang sangat luas. *Contraction joint* adalah sambungan yang dibuat khusus untuk mengontrol retak pada beton dengan area yang luas. *Expansion joint* adalah sambungan pada dua bidang lantai beton untuk kendaraan atau pada perkerasan kaku dan dapat juga sambungan antara konstruksi jalan pendekat sebagai media lalu lintas yang akan melewati jembatan supaya pengguna lalu lintas merasa nyaman dan aman. *Waterstop* berfungsi untuk memberhentikan air sehingga tidak terjadi rembesan atau kebocoran pada sambungan.

Pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo Ponorogo, pemasangan *waterstop* berada pada *construction joint*. *Waterstop* dipasang pada setiap segmen, yaitu setiap 6 meter.



Gambar 4. 52 Denah *Waterstop*

Pemasangan dilakukan dengan cara menjepitkan *Waterstop* pada di antara bekisting. Sehingga posisi *Waterstop* berada di antara segmen yang akan dicor dan segmen yang dicor pada waktu berikutnya.



Gambar 4. 53 Pemasangan *Waterstop*

3. Pembetonan/ Pengecoran

Pada pembangunan terowongan pengelak khususnya bagian *lower* yang di bagi menjadi 72 segmen ini pengecoran di lakukan dengan menggunakan *Pump Truck* yang di salurkan lewat pipa baja berdiameter 15 cm,dengan mutu beton K-175. Langkah-langkah dalam pengecoran Waduk Bendo di bagian lower ini adalah sebagai berikut :

1. *Ready Mix* Beton di bawa dari pabrik menggunakan *Concrete Mixer Truck* dengan waktu yang telah di tentukan menuju lapangan.



Gambar 4. 54 Truk Pengangkut Semen

2. Sebelum di lakukan Pengecoran terlebih dahulu *ready mix* beton harus di tes terlebih dahulu yaitu :
 - a. Uji suhu terhadap mix beton (suhu harus di bawah 35°C),agar beton tidak cepat mengeras saat di inject ke lantai kerja.



Gambar 4. 55 Uji suhu dan Slump

- b. *Uji slump* yang bertujuan untuk menentukan kekakuan mix beton sehingga dapat ditentukan apakah campuran beton kekurangan, kelebihan, atau cukup air. Toleransi penurunan dari uji slump ini menurut PBBI 1971 yaitu (2,5-9)cm.

PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971		
	maks	min
-dinding		
-pelat pondasi	12,5	5
-pondasi telapak bertulang		
-pondasi telapak tidak bertulang		
-kaison	9	2,5
-konstruksi di bawah tanah		
-pelat		
-balok	15	7,5
-kolom		
-dinding		
-pengerasan jalan	7,5	5
-pembetonan masal	7,5	2,5

Gambar 4. 56 Tabel slump berdasarkan PBBI 1971

(sumber : <http://kuliahinsinyur.blogspot.co.id/2012/06/concrete-slump-test-uji-slump-beton.html#.WTYUZZLfq00>)

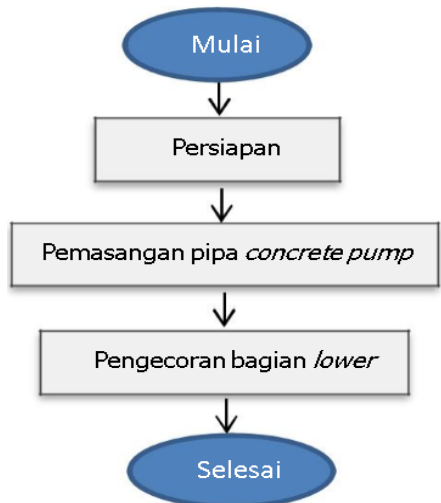
3. Pengambilan sample untuk uji tekan terowongan Waduk Bendo , sample yang di ambil adalah sebanyak 3 buah untuk untuk setiap concrete mixer truck yang datang dalam urutan genap, untuk pengujian umur beton 4,16, dan 28 hari. Cara pengambilan sample untuk uji tekan adalah sebagai berikut :
 - a. Bersihkan cetakan silinder dan lumuri permukaannya dengan pelumas , berfungsi agar adukan beton nantinya tidak menempel pada cetakan silinder tersebut.
 - b. Ambil *ready mix beton* dari *Concrete mixer truck* .
 - c. Kemudian isi silinder dengan *ready mix beton* sampai 1/3 bagian dari silinder kemudian tumbuk

dengan batangan logam yang telah di sediakan sebanyak 25 kali,ulangi percobaan tersebut sebanyak 3 kali sampai silinder penuh.

- d. Kemudia di beri nama pada cetakan tersebut.
- e. Letakkan cetakan di tempat teduh ,dan biarkan sekurang kurangnya selama 24 jam.
- f. Kemudian buka cetakan dan bawa beton ke laboratorium untuk dilakukan uji tekan.

4. Pekerjaan pengecoran

Pengecoran dilakukan pada permukaan terowongan agar permukaan licin. Pengecoran permukaan terowongan berfungsi sebagai penyangga utama struktur terowongan terhadap beban yang berada diatasnya. Pengecoran dilaksanakan setelah pekerjaan bekisting selesai. Secara umum tahapan pekerjaan pengecoran terdiri dari persiapan, pemasangan *Concrete Pump*, dan pengecoran. Urutan pekerjaan pengecoran terowongan bagian lower dapat dijelaskan pada **Bagan 4.56** dibawah ini.



Gambar 4. 57 Diagram alir pekerjaan pengecoran bagian Lower

- a. Terdapat beberapa kegiatan persiapan sebelum dilakukan pengecoran. Hal tersebut dilakukan agar kekuatan beton yang telah dicor mencapai kekuatan yang direncanakan. Sebelum dilaksanakan pengecoran, semua permukaan formasi pondasi di mana beton akan dicor, yakni lantai kerja, harus dibersihkan dari minyak, lumpur, zat organik, potongan-potongan kayu, pecahan batuan dari reruntuhan atau batuan lepas material berbahaya lainnya. Pembersihan dilakukan menggunakan *Air Water Jet* dengan kecepatan tinggi. Semua permukaan bekisting harus dibersihkan dari mortar kering serta semua air yang menggenang harus dihilangkan. Selain kebersihan area kerja, penerangan tambahan juga diperlukan pada saat pengecoran agar meningkatkan ketelitian pekerjaan.
- b. *Concrete Pump* adalah truk yang dilengkapi dengan pompa dan lengan (*boom*) untuk memompa campuran beton *ready mix* ke tempat-tempat yang sulit dijangkau. Pipa *concrete pump* adalah pipa yang menghubungkan *concrete pump* dengan lokasi pengecoran. Pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo dapat dilakukan pengecoran sebanyak dua sampai tiga segmen secara berselang-seling dalam satu waktu. Sehingga membutuhkan pipa dengan panjang kurang lebih 24 meter.



Gambar 4. 58 Rencana bekisting

Dalam pengangkatan pipa diperlukan tenaga sebanyak dua hingga tiga orang karena pipa yang diangkat cukup berat. Pengangkatan dilakukan manual karena area pekerjaan yang terbatas.



Gambar 4. 59 Pengangkatan pipa *Concrete Pump*

Pipa-pipa yang dipasang dari *concrete pump* hingga area pengecoran dengan panjang yang diinginkan harus memiliki sambungan yang kuat. Sambungan menggunakan klem dan baut dan pemasangan dilakukan secara manual.



Gambar 4. 60 Sambungan pipa *Concrete Pump*

Pemasangan pipa dibantu dengan *Scaffolding* dan beberapa kayu balok. *Scaffolding* atau perancah adalah bangunan pelataran (*Platform*) yang dibuat sementara dan digunakan sebagai penyangga tenaga kerja, bahan-bahan, serta alat-alat pada setiap pekerjaan konstruksi bangunan. Pada pekerjaan ini scaffolding yang dibutuhkan hanya

beberapa buah dan diatur sedemikian rupa sehingga dapat menyangga pipa *Concrete Pump*.



Gambar 4. 61 Posisi *Scaffolding* sebagai penyangga pipa *Concrete Pump*

- c. Pengecoran dapat dimulai apabila area kerja sudah bersih dari kayu potongan, serbuk gergaji, gumpalan mortar kering, benda asing, dan genangan air serta apabila *Concrete Pump* sudah terpasang dengan kuat. Temperatur beton tidak boleh lebih dari 31°C selama tahapan campuran sampai penyiraman. Pengecoran beton dimulai dari penuangan beton ke *Concrete Pump*. Penuangan disesuaikan dengan kebutuhan beton di area pekerjaan. Penuangan dapat dihentikan beberapa waktu untuk mengatur posisi pipa bagian ujung sehingga pengecoran dapat merata. Komunikasi untuk penghentian penuangan dilakukan secara langsung sehingga diperlukan suara yang lantang dan tingkat fokus yang baik agar penghentian penuangan dilakukan sesuai dengan instruksi.



Gambar 4. 62 Penuangan beton dari *concrete mix* ke *concrete pump*

Setelah dituang, beton akan mengalir melalui pipa *concrete pump*. Beton yang mengalir tidak boleh keluar melalui sambungan-sambungan pipa dan tidak boleh tersendat. Apabila tersendat dilakukan pemukulan pada pipa secara manual agar beton kembali mengalir. Pada bagian ujung pipa atau segmen yang dilakukan pengecoran, terdapat beberapa pekerja yang telah siap untuk memadatkan beton dan mengarahkan arah jatuhnya beton.



Gambar 4. 63 Penuangan beton dari *Concrete Pump* ke area kerja

Pada dasarnya proses pemadatan beton adalah sebuah proses pemadatan partikel agregat sampai rata-rata pada level atas (3-5 detik) dan mengeluarkan udara yang terjebak dalam beton (7-15 detik) agar tidak mengganggu proses pengikatan antar material dalam beton. Dalam beton segar terdapat 5% sampai 20% kandungan udara terjebak yang harus dikeluarkan, sehingga beton harus dipadatkan dengan tenaga listrik atau tenaga pnumatik, *Vibrator* tipe internal, dengan kecepatan operasi setidaknya 7000 rpm bila dicelupkan ke beton. Kepala *Vibrator* harus dimasukkan ke beton segar secara tegak, minimal 5 cm ke dalam lapisan dibawahnya. Kepala

Vibrator juga diusahakan tidak menyentuh tulangan dan bekisting agar tidak terjadi pergerakan.



Gambar 4. 64 Pemadatan beton dengan *Vibrator* dan pengarahannya penungan beton

Ketelitian dalam proses pemadatan harus benar-benar diperhatikan agar tidak terdapat rongga-rongga udara pada beton yang sedang dipadatkan. Selain itu tidak boleh terjadi perubahan posisi tulangan baja maupun bekisting. Pemadatan/ penggetaran dilakukan tidak terlalu lama agar tidak terjadi pemisahan bahan (*segregasi*). Selain dipadatkan, beton juga diarahkan agar penuangan merata. Setelah penungan pada bagian tengah sudah cukup kemudian dilanjutkan pada posisi samping. Pengarahan penuangan beton pada posisi samping dibutuhkan beberapa orang untuk mengangkat pipa fleksibel *Concrete Pump*.

Proses pemadatan diikuti dengan proses perataan. Perataan permukaan beton dilakukan manual dengan menggunakan cetok, roskam, dan papan perata. Perataan permukaan dilakukan agar ketinggian yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan secara merata. Ketinggian

yang diharapkan yaitu 1,19 meter pada sisi kanan dan kiri serta 0,7 meter pada *center line*.



Gambar 4. 65 Proses perataan permukaan beton

Setelah permukaan beton rata sesuai dengan ketinggian yang diinginkan dan tanda pada bekisting. Pekerjaan pengecoran beton dapat dilanjutkan ke segmen berikutnya. Tahapan pengecoran beton pada segmen selanjutnya sama dengan segmen sebelumnya. Namun pipa *Concrete Pump* hanya perlu dilepas dari rangkaian sampai posisi segmen yang selanjutnya akan dicor.

Pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo pengukuran ulang dilakukan oleh *Surveyor* saat beton berumur 1 hari. Pengukuran ulang berupa dimensi, elevasi, serta *center line* beton bagian *Lower*.



Gambar 4. 66 Pengukuran ulang beton bagian Lower

Apabila beton telah mencapai umur 2 hari bekisting dapat dilepas dan dapat digunakan untuk segmen berikutnya.

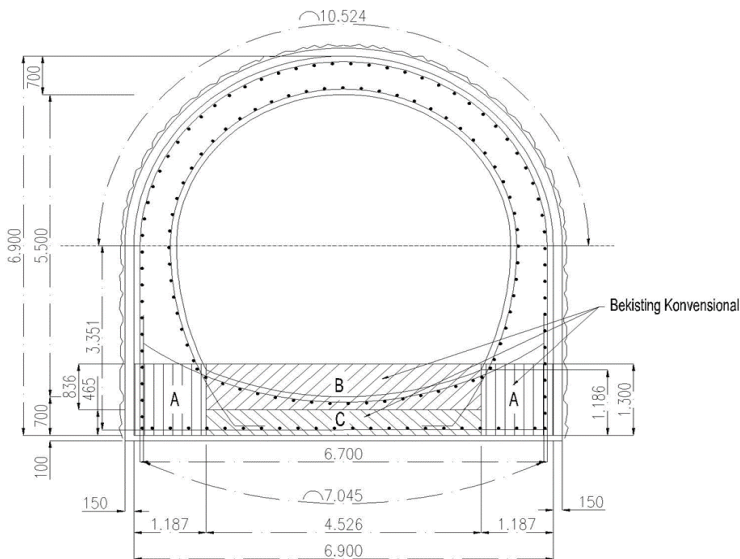


Gambar 4. 67 Beton bagian *Lower*

5. Persyaratan Bahan Pencampuran Beton
 - a. Semen Portland yang digunakan harus berstandar SNI.
 - b. Air yang digunakan haruslah :
 - Bersih, jernih, dan tidak berwarna.
 - Tidak mengandung lumpur, bahan kimia, dan zat-zat organik.
 - Tawar, tidak asin, tidak mengandung zat yang dapat merusak bangunan.
 - c. Pasir yang digunakan harus pasir hitam dari Jawa dengan spesifikasi :
 - Keras, tajam, tidak bercampur butir dari batuan yang rendah kualitasnya.
 - Tahan lama, tidak mudah lapuk oleh cuaca.
 - Berbutir aneka ragam (gradasi).
 - Bersih, tidak mengandung kotoran, zat-zat organik, garam dan kimia.
 - Kadar lumpur maksimum 5%.
 - d. Kerikil untuk beton struktural dipakai kerikil hitam yang harus :
 - Kerikil hitam pecah mesin
 - Keras, tajam, tidak bercampur butir dari batuan yang rendah kualitasnya.
 - Tahan lama, tidak mudah lapuk oleh cuaca.

- Berbutir aneka ragam (gradasi) $d = 1 - 3$ cm.
 - Bersih, tidak mengandung kotoran, zat-zat organik, garam dan kimia.
 - Kandungan kotoran maksimum 5%.
- e. Kerikil untuk beton non struktural dipakai kerikil berwarna putih tulang yang harus :
- Keras, tajam, tidak bercampur butir dari batuan yang rendah kualitasnya.
 - Tahan lama, tidak mudah lapuk oleh cuaca.
 - Berbutir aneka ragam (gradasi) $d = 1 - 3$ cm.
 - Bersih, tidak mengandung kotoran, zat-zat organik, garam dan kimia.
 - Kandungan kotoran maksimum 5%.
- f. Perawatan Beton

Perawatan beton harus dilaksanakan dengan menutup permukaan beton dengan karung goni basah dan disiram 3x sehari yaitu pagi hari, siang hari, dan sore hari selama 4 hari.



Gambar 4. 68 Detai Potongan melintang *Tunnel*

4.9 Pekerjaan Pembetonan bagian *Upper*

Pengerjaan pengecoran terowong bagian uper meliputi:

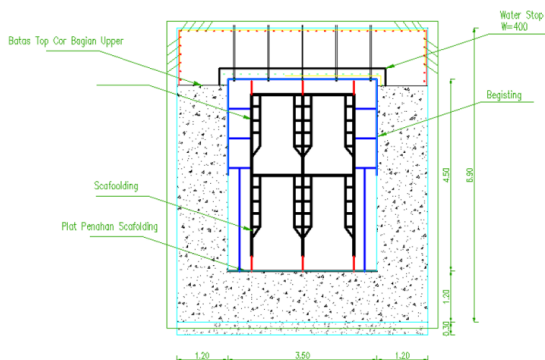
1. Pemasangan bekisting *Sliding Form*

Pemasangan bekisting ini berbeda dengan pemasangan bekisting pada umumnya. Pemasangan bekisting ini merupakan bekisting yang dapat di bongkar pasang dan dapat di arahkan. Untuk *Sliding Form* bekisting ini harus di bongkar terlebih dahulu kemudian dipasangkan ke tempat yang akan dilakukan.



Gambar 4. 69 *Sliding Form* bekisting

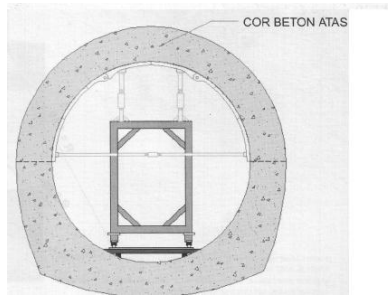
Pada saat pengecoran bagian atas, pembesian di lakukan sepanjang 6 meter dan harus dilakukan pelepasan pada bekisting bagian bawah.



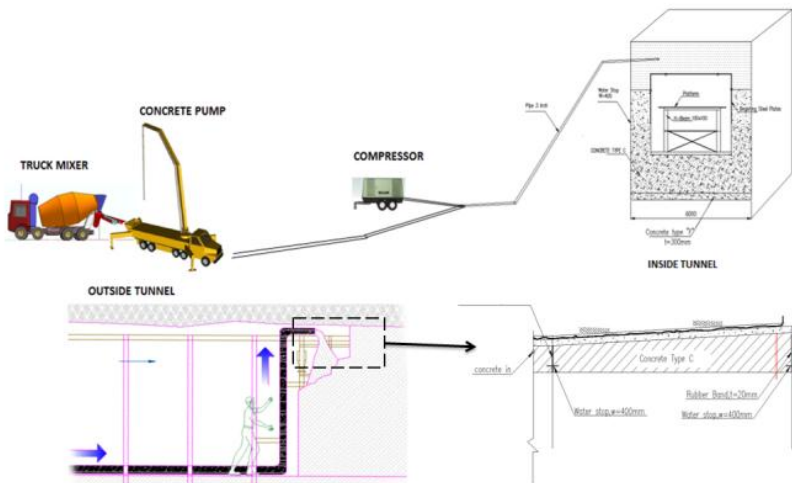
Gambar 4. 70 Proses pengecoran bagian *Upper*

2. Pengecoran

Secara garis besar proses pengecoran untuk terowong bagian upper tidak jauh berbeda dengan proses pengecoran bagian lower.



Gambar 4. 71 Proses pengecoran



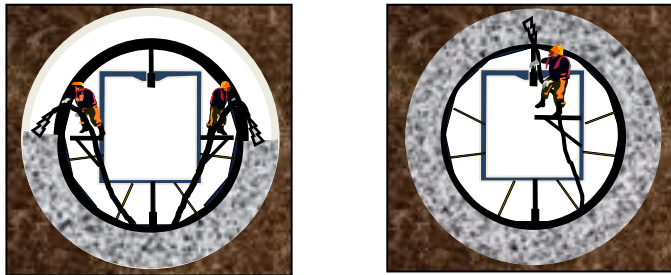
Gambar 4. 72 Proses pengecoran

Pada proses pengecoran bagian *Upper* ini menggunakan kompresor untuk membuat tekanan beton lebih cepat sehingga pada proses pengecoran beton akan terangkat ke atas sehingga mempermudah untuk melakukan pengecoran.

Pada pengecoran segmen pertama *Sliding Form* dimasukan kedalam Tunnel dengan cara ditahan menggunakan *Excavator* dan dibantu didorong oleh pekerja. *Sliding Form* disimpan ditaruh di segmen terakhir, untuk kemudian ditarik setelah pembesian dilakukan.

Slidingform ditempatkan pada posisi yang tepat maka dilakukan supporting (Penahan *Formwork*) dan pemasangan stop cor pada sisi ujung *Slidingform*.

Selanjutnya dilakukan pengecekan oleh tim survey dari leveling elevasi dan arah. Kemudian setelah dinyatakan good for concrete oleh tim survey, semua supporting dan perkuatan disetting dengan arahan dari tim survey.



Gambar 4. 73 Tahapan pengecoran bagian *Upper* terowongan

Tahapan Selanjutnya Pembongkaran Bekisting bagian *Upper* setelah beton mencapai umur. Kemudian dilakukan Pembesian lanjutan untuk daerah peralihan dan transisi lainnya.

Pembukaan *Sliding Form* dilakukan setelah umur beton mencapai 48 jam, dilakukan dengan perlahan dan hati-hati sehingga tidak merusak permukaan beton yang telah dikerjakan. Setelah berhasil dibuka, maka selanjutnya dilakukan pemindahan dengan segera ke block / segmen berikutnya.



Gambar 4. 74 Proses pelepasan *Sliding* bekisting

4.10 Pekerjaan *Grouting*

Ada 3 macam *Grouting* yaitu *Consolidation Grouting* , *Curtain Grouting* , dan *Backfill Grouting* adapun langkah – langkah dalam *Grouting* adalah sebagai berikut :

a. *Consolidation grouting*

1. Setting peralatan pemboran pada titik pemboran awal.
2. Pemboran dilakukan pada titik primer lalu dilanjutkan titik sekunder dan selanjutnya tersier.
3. Pemboran untuk batuan yang tidak mudah rusak oleh air, boleh menggunakan air.
4. Pada titik primer, sekunder maupun tersier pemboran menggunakan sistem *non coring*.
5. Pemboran dimulai dari kedalaman 0 – 5 m, lalu dilakukan pencucian lubang bor dan selanjutnya dilakukan pengujian *water test* dan *grouting*.
6. Pada titik primer, sekunder dan tersier pengujian *water pressure test* dilakukan sekali dengan tekanan maksimum.

**Tabel 4. 6 Pengujian *water pressure test* pada
*Consolidation Grouting***

Step	Kedalaman (m)	Tekanan Uji air (Kg/cm^2)	Tek. Maks. Grouting (Kg/cm^2)
1	0-5	0,5-1-2-1-0,5	2
2	5-10	1-1,5-2-1,5-1	2
3	10-15	1-2-3-2-1	3
4	15-20	1-2-3-2-2	3
5	20-25	1-2-3-4-3-2-1	4
6	25-30	1-2-3-4-3-2-2	4
7	30-35	1-2-3-5-3-2-1	5
8	35-40	1-2-3-5-3-2-1	5
9	40-45	1-2-3-6-3-2-1	6
10	45-50	1-2-3-6-3-2-1	6

7. Setelah mendapatkan nilai lugeon/permeabilitas dari pengujian *Water Pressure Test* maka dilanjutkan dengan *Grouting*. Campuran *Grouting* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Campuran *grouting* pada *Water Pressure test* pada *Consolidation Grouting*

Campuran Nomor	Perbandingan S:A	Kuantitas Injeksi dalam 20 menit	Perubahan S:A
1	1 : 10	800 lt	1 : 8
2	1 : 8	700 lt	1 : 6
3	1 : 6	600 lt	1 : 4
4	1 : 4	500 lt	1 : 2
5	1 : 2	400 lt	1 : 1

8. *Grouting* dinyatakan selesai jika kuantitas campuran yang diinjeksi telah menunjukkan 0,2 liter/menit/meter pada tekanan maksimum yang diizinkan selama 20 menit.

9. Apabila dalam pelaksanaan pada campuran 1:1 tercapai tekanan maksimum belum tercapai dengan volume 2000 liter, maka *Grouting* dihentikan selama 8 jam dan dilanjutkan kembali dengan campuran 1:1 sampai tekanan maksimum tercapai dan kuantitas yang diinjeksi 0,2 liter/menit/meter pada tekanan maksimum yang diizinkan selama 20 menit tercapai.
10. Lubang bor selanjutnya di tutup dengan mortar.
11. Setelah *Grouting* selesai dilanjutkan pemboran kedalaman 5 – 10 m, lalu ikuti langkah 2 – 11, dan dilanjutkan kedalaman berikutnya dan diulang langkah 4 – 15 sampai kedalaman rencana tercapai.

b. *Curtain grouting*

1. Pada titik primer, sekunder maupun tersier pemboran menggunakan sistem *Non Coring*.
2. Pemboran dimulai dari kedalaman 0 – 5 m, lalu dilakukan pencucian lubang bor dan selanjutnya dilakukan pengujian water test dan *Grouting*.
3. Pada *Pilot Hole* dan *Check Hole* pemboran dilakukan dengan cara *Coring* dan pengujian *Water Pressure Test* dilakukan dengan tekanan seperti berikut :

Tabel 4. 8 Pengujian *water pressure test* pada *Consolidation Grouting*

Step	Kedalaman (m)	Tekanan Uji air (Kg/cm^2)	Tek. Maks. Grouting (Kg/cm^2)
1	0-5	0,5-1-2-1-0,5	2
2	5-10	1-1,5-2-1,5-1	2
3	10-15	1-2-3-2-1	3
4	15-20	1-2-3-2-2	3
5	20-25	1-2-3-4-3-2-1	4
6	25-30	1-2-3-4-3-2-2	4
7	30-35	1-2-3-5-3-2-1	5
8	35-40	1-2-3-5-3-2-1	5
9	40-45	1-2-3-6-3-2-1	6
10	45-50	1-2-3-6-3-2-1	6

4. Pada titik primer, sekunder dan tersier pengujian *Water Pressure Test* dilakukan sekali.
5. Setelah mendapatkan nilai lugeon/permeabilitas dari pengujian *Water Pressure Test* maka dilanjutkan dengan *grouting*. Campuran *Grouting* adalah sebagai berikut :

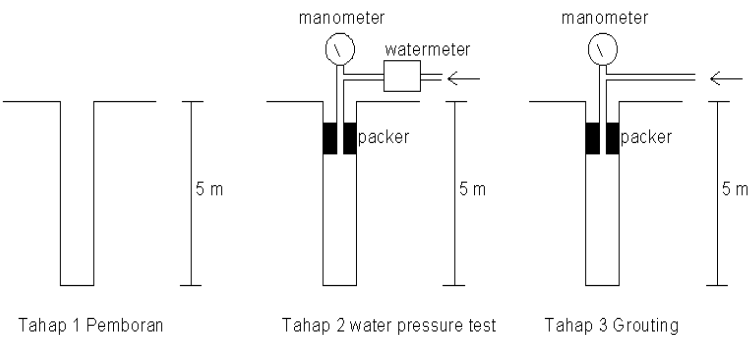
Tabel 4. 9 Campuran *grouting* pada *Water Pressure Test* pada *Curtain Grouting*

Campuran Nomor	Perbandingan S:A	Kuantitas Injeksi dalam 20 menit	Perubahan S:A
1	1 : 10	800 lt	1 : 8
2	1 : 8	700 lt	1 : 6
3	1 : 6	600 lt	1 : 4
4	1 : 4	500 lt	1 : 2
5	1 : 2	400 lt	1 : 1

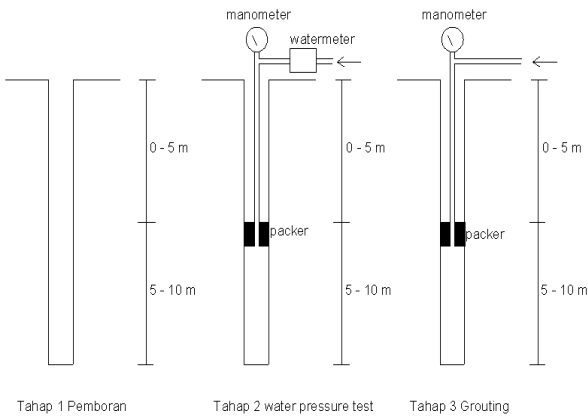
6. *Grouting* dinyatakan selesai jika kuantitas campuran yang diinjeksi telah menunjukkan 0,2 liter/menit/meter pada tekanan maksimum yang diizinkan selama 20 menit.
7. Apabila dalam pelaksanaan pada campuran 1:1 tercapai tekanan maksimum belum tercapai dengan volume 2000 liter, maka *grouting* dihentikan selama 8 jam dan dilanjutkan kembali dengan campuran 1:1 sampai tekanan maksimum tercapai dan kuantitas yang diinjeksi 0,2 liter/menit/meter pada tekanan maksimum yang diizinkan selama 20 menit tercapai.
8. Lubang bor selanjutnya di tutup dengan mortar.
9. Setelah *Grouting* selesai dilanjutkan pemboran kedalaman 5 – 10 m, lalu ikuti langkah 4 – 15, dan dilanjutkan kedalaman berikutnya dan diulang langkah 4 – 15 sampai kedalaman rencana tercapai.
10. Pengecekan hasil *grouting* dilakukan pada titik check hole, dengan pemboran coring diameter minimum 50 mm. Pengujian berupa *Water Pressure Test*, untuk

mengetahui apakah nilai lugeon sesuai dengan yang diharapkan. Tekanan pada pengujian *Water Test* seperti yang dilakukan pada pilot hole.

11. Titik *Pilot Hole* dan *Check Hole* ditentukan oleh direksi dan konsultan pengawas



Gambar 4. 75 Pemboran dan *Groting Stage 1* (0 – 5 m)



Gambar 4. 76 Pemboran dan *Groting Stage 2* (5 – 10 m)

c. *Back Fill grouting*

1. Setting andang dan kemiringan yang sesuai pada spindel mesin bor di titik *Grouting*.
2. *grouting* dilakukan setelah pelaksanaan pengecoran lining terowongan telah selesai.
3. Pembuatan lubang bor.
4. Pemasangan valve dan packer.
5. Pelaksanaan *grouting* dengan campuran 1 air : 1 semen : 2 pasir.
6. *grouting* dinyatakan selesai jika telah mencapai tekanan 2 kg/cm².
7. Selanjutnya valve ditutup dan packer ditinggal sementara, selang *Grouting* dilepas untuk pekerjaan *grouting* selanjutnya.
8. Setelah 2-3 jam packer baru dilepas sehingga tidak terjadi tekanan semen balik.
9. Pelaksanaan *grouting* pada terowongan harus dimulai dari hilir ke arah hulu.
10. Untuk menghindari kesulitan dalam pelaksanaan pemboran dan *Grouting*, sebaiknya sebelum pengecoran pada dinding di berikan pipa pvc untuk titik *Grouting* dengan diameter 2 ½". Pipa galvanized sebaiknya tidak digunakan karena setelah pengecoran lining, biasanya lubang pada pipa tetap akan terisi oleh material beton, sehingga dibutuhkan *redrilling*, sehingga jika menggunakan pipa *galvanized* akan menyulitkan dalam proses pemboran.

4.11 Ringkasan Tahapan Pekerjaan Terowongan

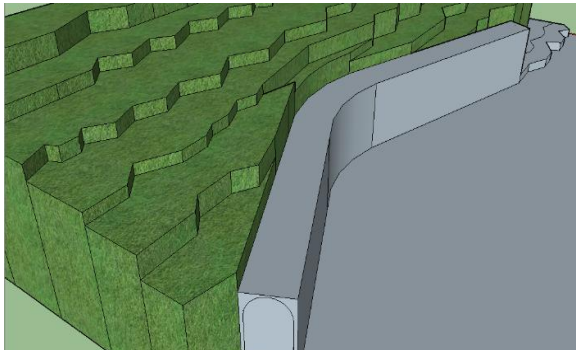
a. Pekerjaan Pemetaan

Pekerjaan pemetaan adalah pekerjaan yang bertujuan untuk menentukan titik koordinat pada proyek yang akan di kerjakan. Kondisi lokasi yang akan dikerjakan terlihat pada **Gambar 4.78**. Pekerjaan pemetaan menggunakan alat bantu

berupa GPS, *Total Station*, bak ukur, *Waterpas* dan lain lain. Terlihat pada **Gambar 4.77** dilakukan proses penembakan.



Gambar 4. 77 Penembakan terowongan dengan menggunakan *Totalstation*

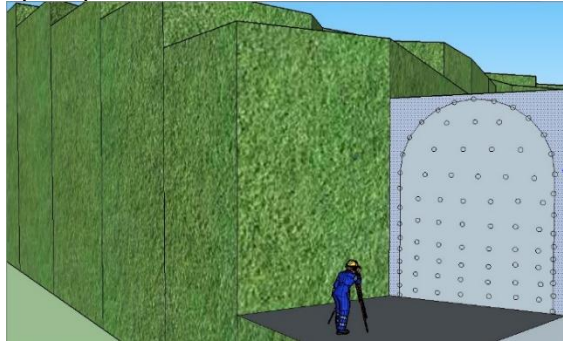


Gambar 4. 78 Kondisi terowongan pengelak

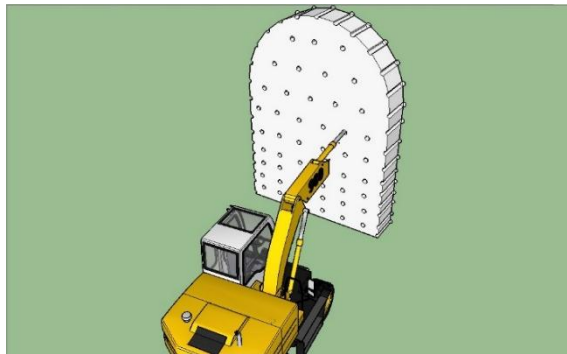
b. Pekerjaan *drilling* dan *blasting*

Pekerjaan *drilling* dan *blasting* adalah pekerjaan pemboran dan peledakan yang bertujuan untuk membuat lubang dengan cara di ledakan. Awal mula pekerjaan ini dilakukan pembuatan titik lubang ledakan seperti pada **Gambar 4.79** setelah

itu dilakukan pemboran lubang ledak (*drilling*) seperti pada **Gambar 4.80**.

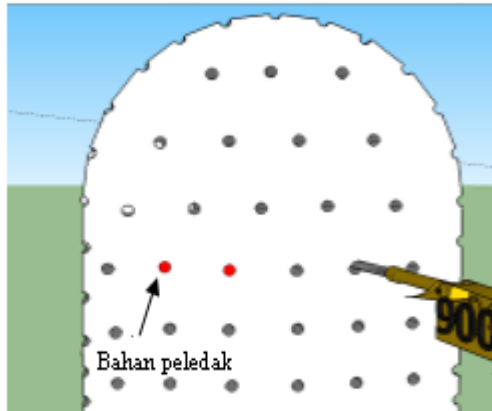


Gambar 4. 79 Membuat titik pada terowongan yang akan diledakan

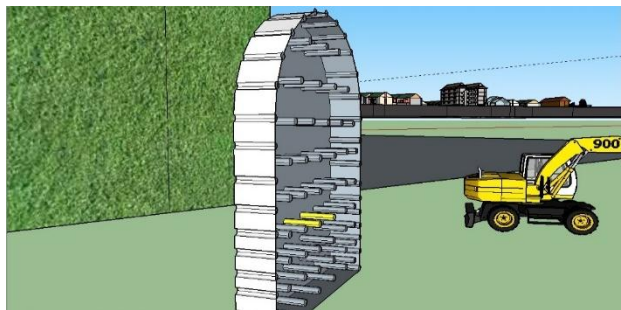


Gambar 4. 80 Pekerjaan *Drilling*

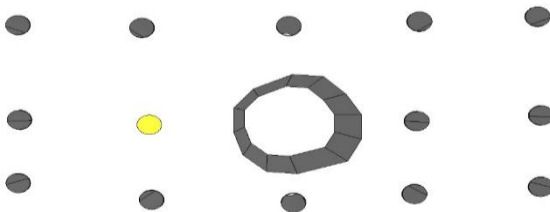
Setelah pekerjaan *drilling*, dilakukan pekerjaan pengisian bahan ledak yang terlihat pada **Gambar 4.81** dan **Gambar 4.82**. Setelah diledakan maka akan terlihat hasil ledakannya seperti pada **Gambar 4.83**.



Gambar 4. 81 Pengisian bahan peledak



Gambar 4. 82 Kedalaman bahan peledak



Gambar 4. 83 hasil ledakan lubang tahap pertama

c. Pekerjaan *Scalling* dan *Mucking*

Pekerjaan *Scalling* dan *Mucking* adalah pekerjaan yang bertujuan untuk membersihkan sisa-sisa hasil ledakan seperti pada **Gambar 4.84**



Gambar 4. 84 Hasil *Scalling* dan *Mucking*

d. Pekerjaan *Wiremesh*, *Rockbolt* dan *Steel Support*

Pekerjaan *Wiremesh*, *Rockbolt* dan *Steel Support* merupakan pekerjaan penguatan terhadap badan terowongan agar mencegah terjadinya longsor pada terowongan. Untuk pekerjaan pemasangan *steelsupport* dapat dilihat pada **Gambar 4.85** dan **Gambar 4.86**.



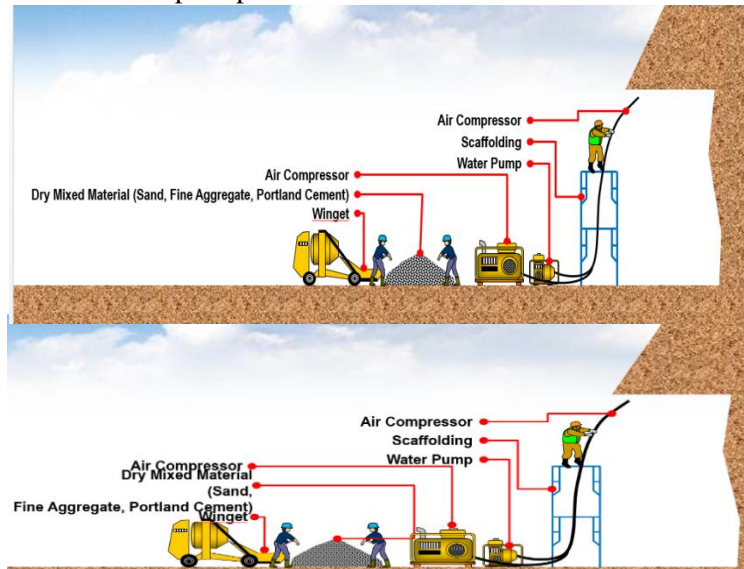
Gambar 4. 85 Pemasangan *Steel Support*



Gambar 4. 86 Steel Support yang telah dipasang

e. Pekerjaan Shotcrete

Pekerjaan *Shotcrete* adalah pekerjaan yang bertujuan untuk melapisi besi yang terpasang di badan terowongan dengan lapisan mortar atau semen cair seperti pada **Gambar 4.87**



Gambar 4. 87 Pekerjaan shotcrete

f. Pekerjaan rantai kerja

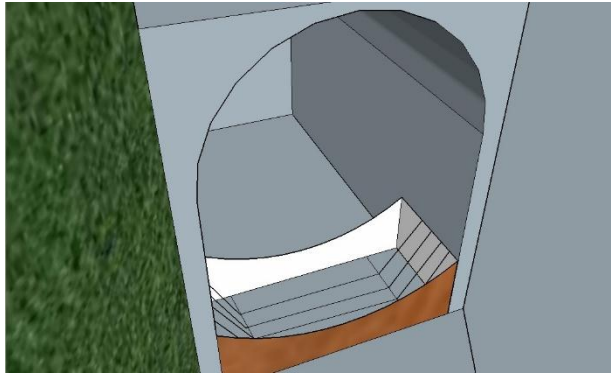
Pekerjaan rantai kerja merupakan pekerjaan untuk membuat landasan agar mempermudah proses pembetonan pada terowongan seperti pada **Gambar 4.88**.



Gambar 4. 88 Pengeoran rantai kerja

g. Pekerjaan pembetonan bagian *Lower*

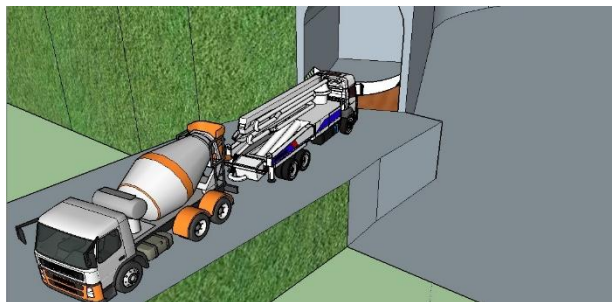
Pekerjaan pembetonan bagian *lower* ini memiliki tahapan yaitu pembesian atau biasa disebut penulangan, pemasangan bekisting dan pengecoran. Tahapan pertama yaitu pemasangan tulangan pada **Gambar 4.89**. Kemudian dilakukan proses pemasangan bekisting yang dapat dilihat pada **Gambar 4.90**. Setelah penulangan dan pemasangan bekisting terpasang, selanjutnya dilakukan proses pengecoran seperti pada **Gambar 4.91** dan hasil pengecoran terlihat pada **Gambar 4.92**.



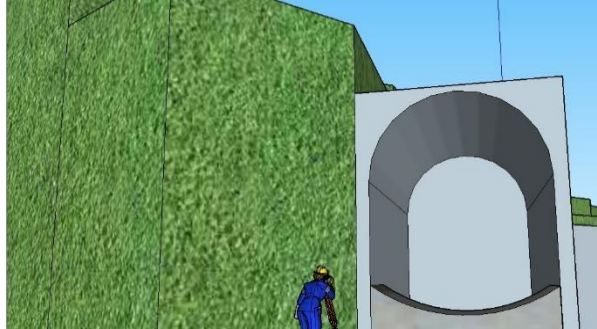
Gambar 4. 89 Pemasangan tulangan



Gambar 4. 90 Pemasangan bekisting



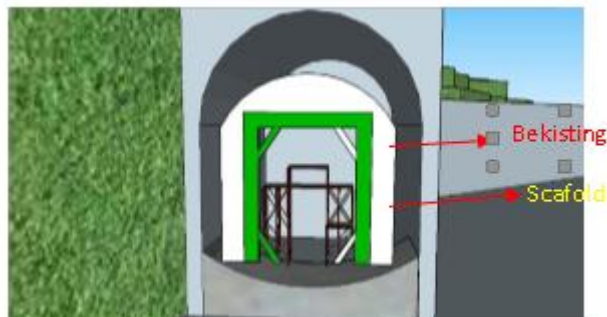
Gambar 4. 91 Pembetonan bagian *Lower*



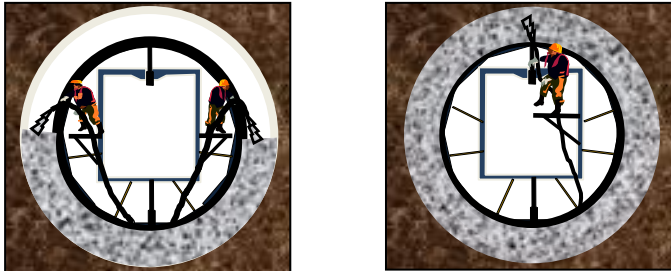
Gambar 4. 92 Terowongan bagian lower telah di cor

h. Pembetonan bagian *Upper*

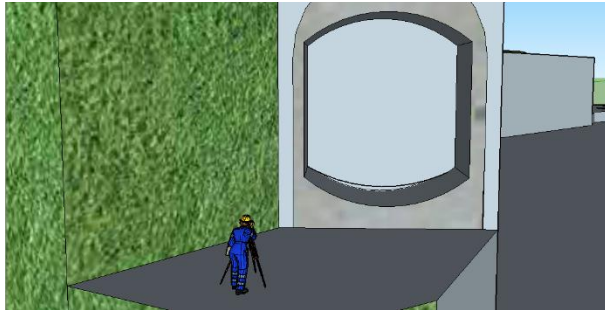
Pekerjaan pembetonan bagian *upper* tidak jauh berbeda dengan pembetonan bagian *lower*. Yang membuat berbeda adalah pada pemasangan bekisting yang terlihat pada **Gambar 4.93**. Pada bagian *upper* bekisting yang digunakan merupakan bekisting khusus yang telah di pesan untuk proses pengecoran terowongan bagian *upper*



Gambar 4. 93 Bekisting pada bagian *Upper*



Gambar 4. 94 Tahapan pengecoran bagian *Upper*



Gambar 4. 95 Hasil setelah dilakukan proses pembetonan

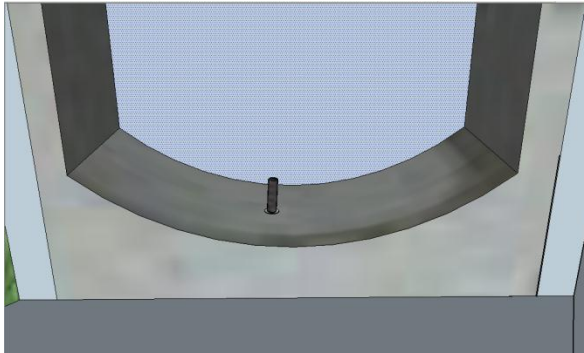
i. *Grouting*

Grouting adalah proses pengisian lubang pori-pori yang ada pada objek yang telah dicor. *Grouting* dilakukan dengan tujuan agar air tidak meresap kedalam beton. Jika air meresap kedalam beton hal ini akan menyebabkan korosi pada beton jika tidak dilakukan proses *grouting*.

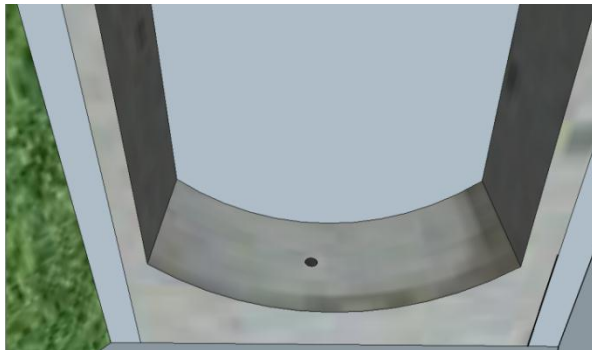


Gambar 4. 96 Lubang *Grouting*

Pertama lubang *grouting* telah dibentuk pada saat pengecoran terowongan bagian *lower*. Lubang *grouting* tersebut beriameter 10 cm. Lubang *grouting* dapat dilihat pada **Gambar 4.96** dan pipa *grouting* pada **Gambar 4.97**. Hasil dari proses *grouting* dapat dilihat pada **Gambar 4.98**.



Gambar 4. 97 Pipa *grouting*



Gambar 4. 98 Hasil *grouting*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada salah satu proses pembangunan Waduk Bendo adalah pengerjaan *tunnel* (saluran pengelak). Untuk pembangunan *tunnel* menurut NATM (*New Austrian Tunnels Method*) sendiri terdiri dari sepuluh tahapan yaitu pekerjaan tanah, pekerjaan *drilling* dan *blasting*, pekerjaan *scalling* dan *mucking*, pekerjaan *rockbolt* dan *wiremesh*, pekerjaan *steelsupport*, pekerjaan *shotcreet*, pekerjaan pengecoran bagian *lower*, pekerjaan pembetonan bagian *upper* dan yang terakhir pekerjaan *grouting*.
2. Pada pekerjaan tanah tahapan awal adalah menentukan titik BM (*Bench Mark*) atau biasa yang disebut patok pada koordinat nol pada suatu proyek. Penentuan awal koordinat menggunakan alat bantu GPS. Titik awal pada terowongan pengelak memiliki koordinat $X = 4592,66$, $Y = 5048.02$. Tahapan berikutnya adalah menembak titik koordinat yang di dapat dan di implementasikan ke lapangan dengan menggunakan alat bantu berupa *total station*.
3. Pada tahapan peledakan dimulai menentukan titik lubang ledakan. Setelah penentuan titik ledakan, selanjutnya penentuan kedalaman dan pengisian kebutuhan alat peledak.
4. Pada tahapan *Scalling* dan *Mucking* dimulai dari pengambilan sisa-sisa batuan dan sisa hasil bahan peledak yang telah di ledakan agar dapat dilakukan proses berikutnya untuk pekerjaan terowongan pengelak

5. Pada tahapan selanjutnya adalah tahapan dalam pemasangan *Rockbolt*, *Wiremesh* dan *Steel Support*. Pada tahapan ini adalah tahapan pemasangan penguat batuan dengan baja agar batuan yang berada pada terowongan tidak runtuh ke dalam terowongan dan memberi daya penguat pada terowongan untuk mencegah terjadinya longsoran ke dalam terowongan. Setelah diberi penguat pada terowongan selanjutnya dilakukan proses penyelesaian pada tahapan ini dengan melakukan penyemprotan cairan beton atau biasa yang disebut *Shotcrete*. Pada proses *Shotcrete* dilakukan sebanyak dua kali dengan tahapan *first layer* dan *second layer*.
6. Pada tahapan akhir dilakukan proses pengecoran. Proses pengecoran ini dilakukan dengan dua kali tahapan. Pada tahapan pertama dilakukan proses pengecoran pada bagian *Lower* dan tahapan berikutnya dilakukan pengecoran pada bagian *Upper*. Pada bagian *upper* dilakukan dengan bantuan *Sliding bekisting*. *Sliding bekisting* ini merupakan bekisting yang dapat berjalan dan bentuknya sudah disesuaikan dengan kondisi terowongan. Setelah proses pengecoran selesai, selanjutnya dilakukan proses *Grouting*. Proses *Grouting* ini adalah proses untuk menutup lubang pori pada hasil pengecoran agar air tidak masuk ke dalam beton sehingga tidak terjadi kerusakan pada beton.

5.2 Saran

Diharapkan penulisan tugas akhir ini memberikan manfaat bagi para pembaca laporan tugas akhir ini. Untuk kesalahan penulisan serta pengejaan dalam kalimat kami mohon maaf yang sebesar-besarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonime*. 2012. **Pengertian dan Macam- macam Grouting**. <URL:<http://youngcollegestudent.blogspot.co.id/2012/06/geotek.html>>.
- Anonime*. 2012. **Pengertian dan Detail Rockbolt**. <URL:http://www.weiku.com/products/12114491/Self_drilling_rock_bolt.html>.
- Anonime*. 2012. **Pengertian dan Macam- macam Compressor**. <URL:<http://store.kgpowersystems.com/hp750wcuingersoll-rand-portable-diesel-air-compressor-750-cfm-80---175-psi-2-discharge-cummins-qsc-8-3-engine.aspx>>
- Anonime*. 2012. **Pengertian dan Macam- macam Lattice**. <URL:<https://www.dsiunderground.com/products/tunneling/underground-construction/support-system/steel-support/support-types.html>>.
- Anonime*. 2015. **Daftar Harga Wiremesh Terbaru 2017 Berbagai Jenis & Ukuran** <URL:<http://www.hargamaterialbangunan.com/2016/10/harga-wiremesh.html>>
- Kementrian PU Dirjen SDA BBWS Bengawan Solo. 2004. **Album Gambar Bnd-6-01 Denah dan Potongan Terowongan**. Solo: Kantor BBWS Bengawan Solo
- Kementrian PU Dirjen SDA BBWS Bengawan Solo. 2004. **Album Gambar Bnd-6-02 Profil dan Potongan Tipe Terowongan**. Solo.
- Kramadibrata, Suseno. 2012. **Siklus Pengeboran dan Peledakan Terowongan**. <URL:https://www.academia.edu/6408705/Siklus_Penerowongan_Pemboran_Pemuatan_Peledakan_Pembersihan_asap_ventilasi_Scailing_grouting_bila_diperlukan_Penyanggaan>.
- Kementrian PU RI. 2008 Nomor : 06/PRT/M/2008. 2008. **Pedoman Pengawasan Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi**. Jakarta.

- WIK A Kontraktor, PT. 2013. **Dokumen Metode Pelaksanaan Terowongan Pengelak Waduk Bendo**. Ponorogo.
- Witjarnoko, Yuda. 2015. **Pemetaan Topografi Menggunakan Gps Geodetik Dengan Metode Rtk (Real Time Kinematik) di Desa Tanjung Jati Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan**. <URL:
https://www.academia.edu/20236621/Pemetaan_Topografi_Menggunakan_Gps-Geodetik_dengan_Metode_RTK_Real_Time_Kinematik_di_Desa_Tanjung_Jati_Kecamatan_Kamal_Kabupaten_Bangkalan>.

LAMPIRAN

BIOADATA PENULIS

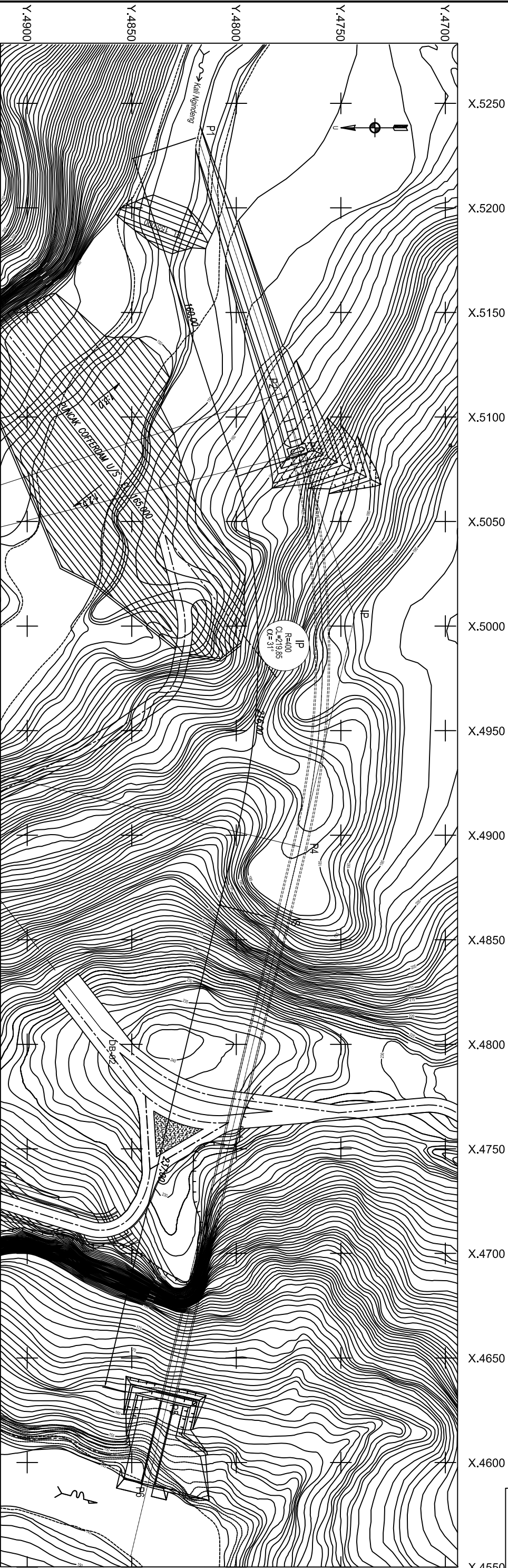


Penulis memiliki nama Lilianto Rio Pambudi, dilahirkan di Rembang pada tanggal 20 Juni 1996, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Mardisiwi 1 Gedongmulyo, SDN 1 Gedongmulyo, SMPN 1 Lasem, SMAN 1 Lasem Kabupaten Rembang. Setelah lulus dari SMA 1 Lasem pada tahun 2014, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan diterima di jurusan Teknik Sipil pada tahun 2014 yang pada tahun 2017 berubah menjadi (Departemen Teknik Infrastruktur Sipil) dan terdaftar dengan NRP 3114030070. Di jurusan tersebut penulis mengambil bidang studi Bangunan Air. Penulis pernah aktif dalam berbagai kepanitiaan yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIOADATA PENULIS

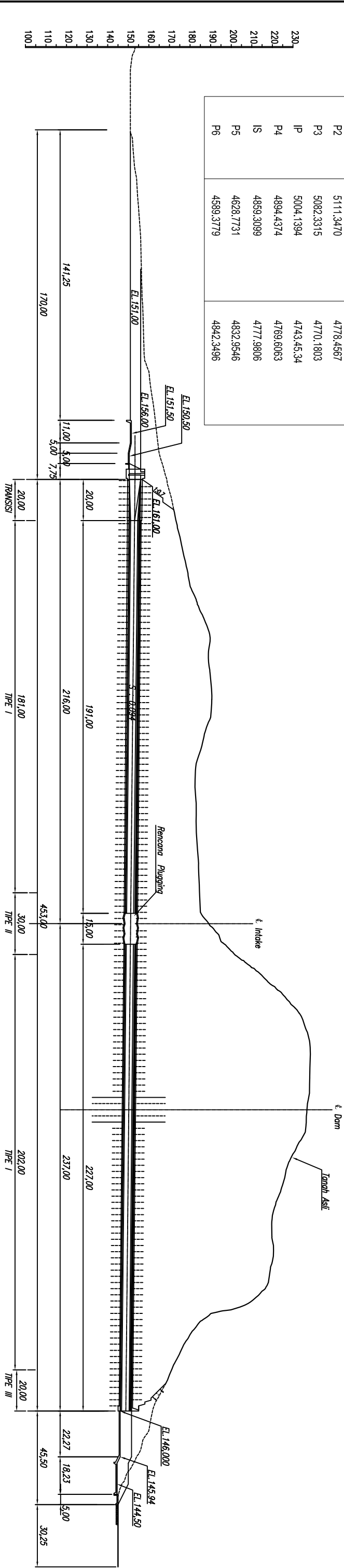


Penulis memiliki nama Mustar Ichsandi, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 03 Mei 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Hasanudin Balas Klumprik Surabaya, SDN Kebraon 2 Surabaya, SMPN 16 Surabaya, SMAN 22 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 22 Surabaya pada tahun 2013, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan diterima di jurusan Teknik Sipil pada tahun 2014 yang pada tahun 2017 berubah menjadi (Departemen Teknik Infrastruktur Sipil) dan terdaftar dengan NRP 3114030103. Di jurusan tersebut penulis mengambil bidang studi Bangunan Air. Penulis pernah menjabat sebagai wakil ketua HMDS dan menjadi staff BEM ITS serta aktif dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



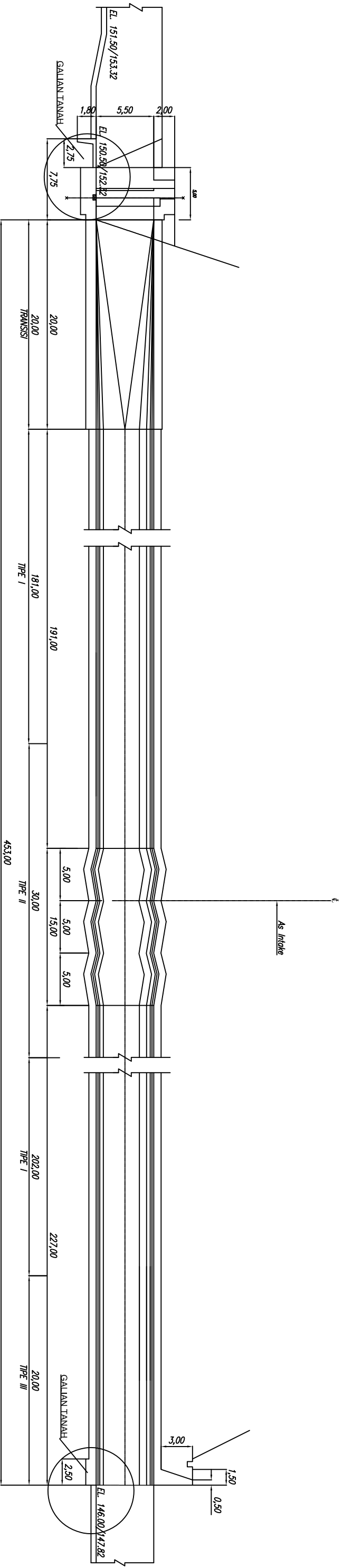
TITIK	KOORDINAT	
	X	Y
P1	5233,7508	4818,4215
P2	5111,3470	4778,4567
P3	5082,3315	4770,1803
IP	5004,1394	4743,45,34
P4	4894,4374	4769,6063
IS	4859,3099	4777,9806
P5	4628,7731	4832,9546
P6	4589,3779	4842,3496

DENAH

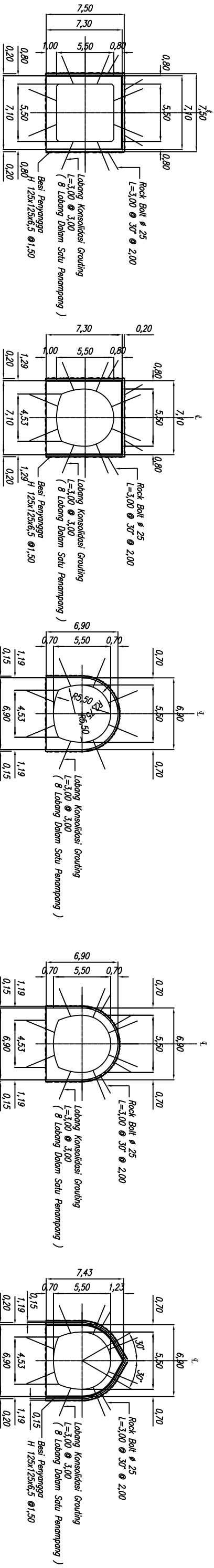


POTONGAN MEMANJANG

[illegible]



PROFIL



TRANSISI

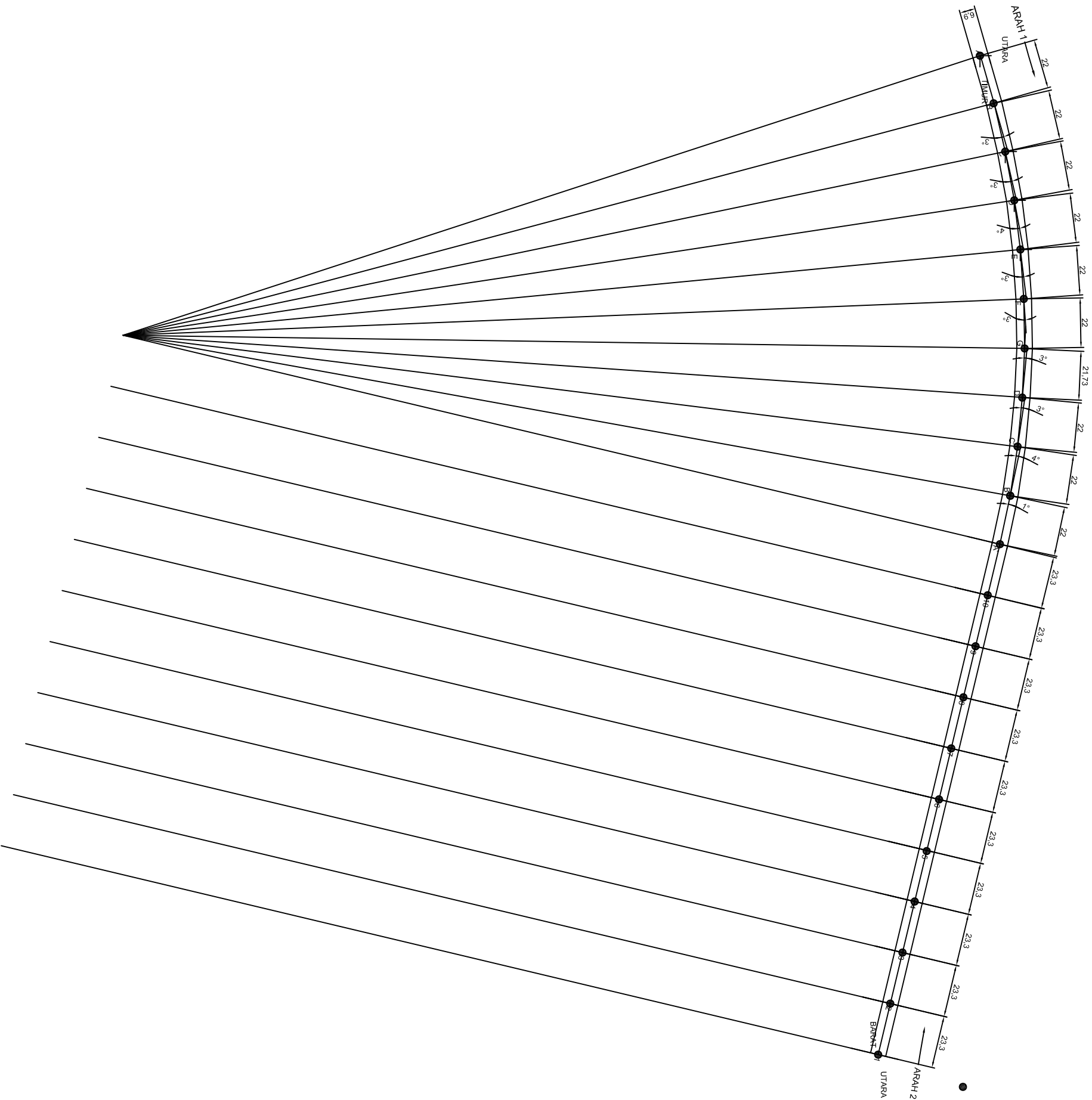
TIPE I

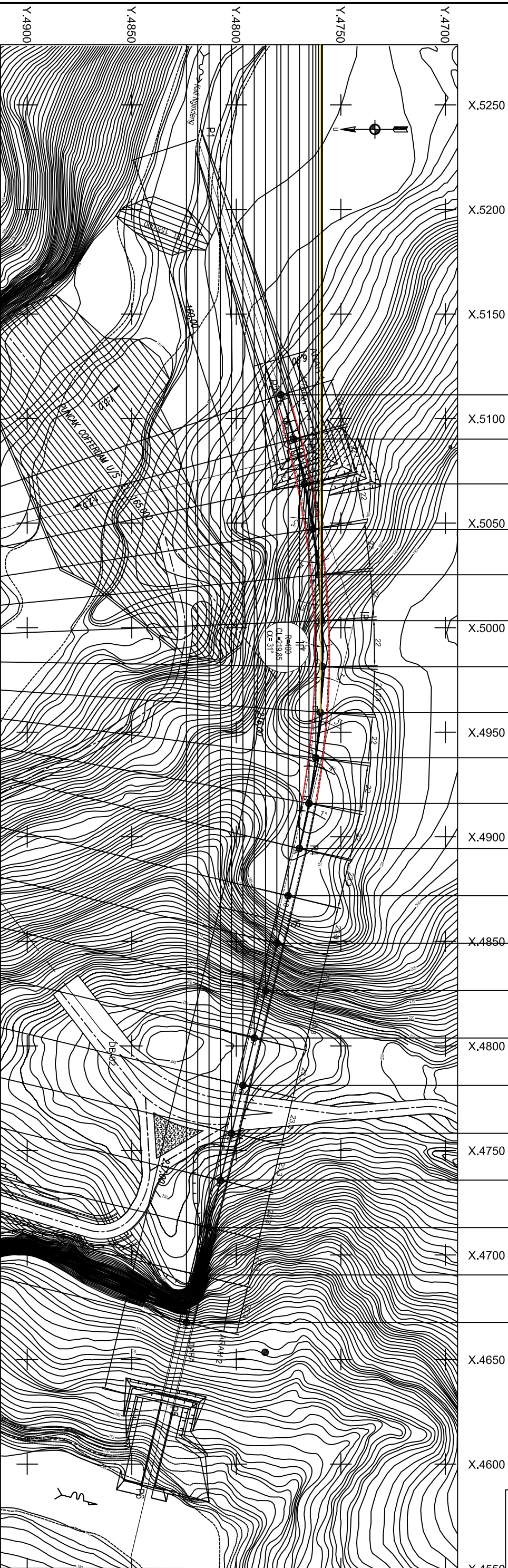
TYPE II

TYPE III

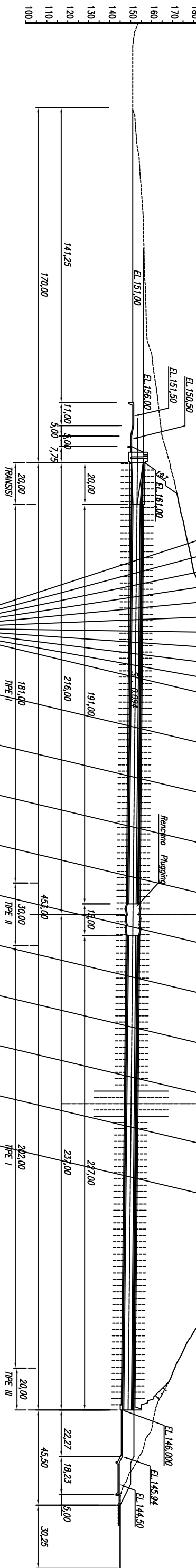
[illegible]

[illegible]





TITIK	KOORDINAT	
	X	Y
P1	5233,7508	4818,4215
P2	5111,3470	4778,4567
P3	5082,3315	4770,1803
IP	5004,1394	4743,45,34
P4	4894,4374	4769,6063
IS	4859,3099	4777,9806
P5	4628,7731	4832,9546
P6	4589,3779	4842,3496



POTONGAN MEMANJANG

No. Revisi	Tanggal	REVISI	Oleh	Ditemo.	Ditandatangani	Mengantungi	Pembina Program : Sudarsono, ATP, CES	Direktur Perekonomian Jl. Luitubing Harti Nur Aza, AK	Ditandatangani <i>[Signature]</i>	Diperiksa <i>[Signature]</i>	JANGGAL	NO KONTROL
											16 JUNI 2004	KU.08.08 - J.A. 11.034 PPN-05/2004 - 05

	DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR WILAYAH TENGAH PROYEK INDUK PENGEMBANGAN WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO PROYEK PENGEMBANGAN DAM PENGENDALAN SUMBER AIR BENGAWAN SOLO Jl. Sumatra Rajahmou, 3116 Kocah Peta 2801, (DZ717) 711043 Gempuror - Seloagung (57622)	PROFINSI JAWA TIMUR KABUPATEN PONOROGO
	PEKERJAAN : PENYUSUNAN DETIL DESAIN	

DENAH DAN POTONGAN TEROWONG PENGELAK